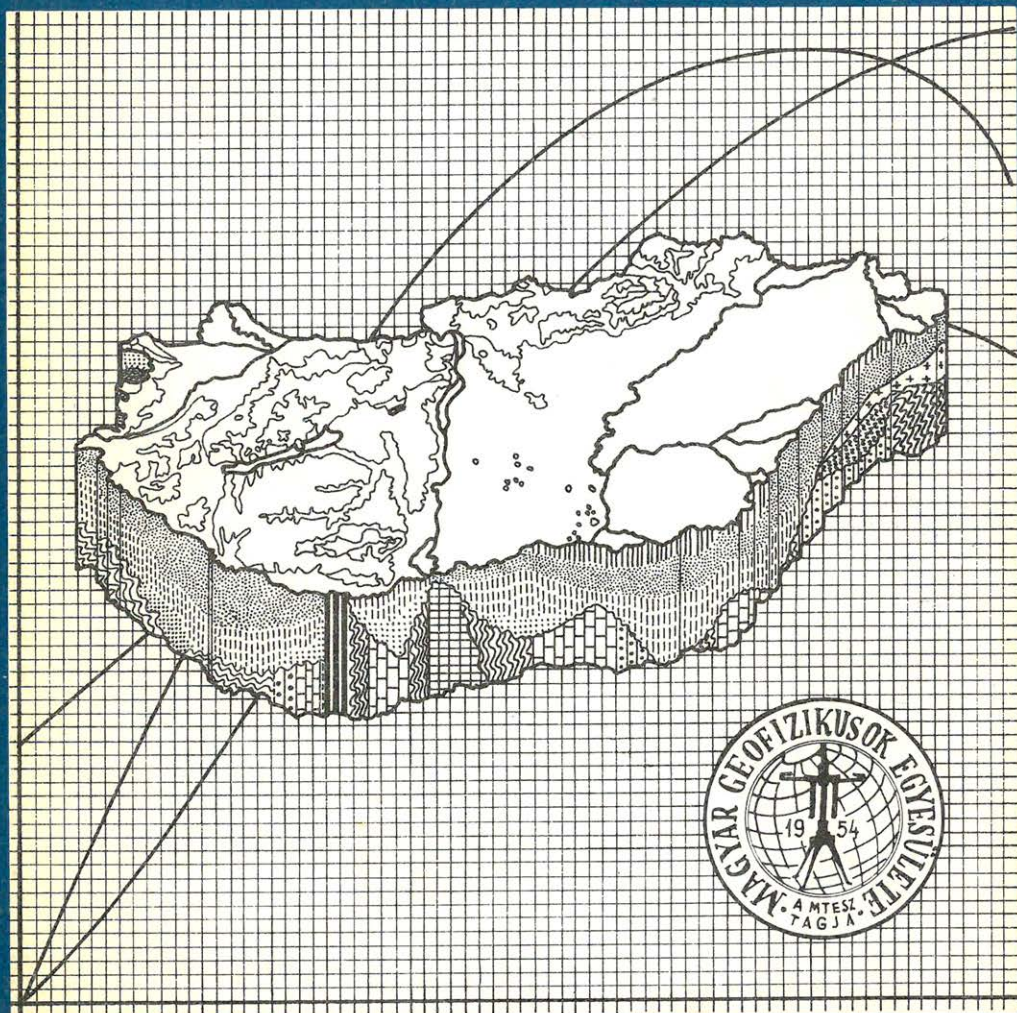


# MAGYAR 1 GEOFIZIKA



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA  
BUDAPEST, 1980. XXI. ÉVFOLYAM, 1. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

Ünnepi megemlékezés a Magyar—Szovjet Tudományos Műszaki Együttműködés 30. évfordulójáról .....	1
M. Berdicsevszkij: A magnetotellurika legújabb eredményeiről .....	19
Nekrológ .....	40

---

Főszerkesztő: Dr. Sebestyén Károly, a MGE társelnöke

Szerkesztő bizottság: Dr. Bencze Pál, Dr. Bodoky Tamás, Czeglédi István, Deres János, Gellért Tamás, Gerzson István, Dr. Horváth Ferenc, Hursán László, Lakatos Sándor, Marton Tibor, Dr. Posgay Károly, Rádlér Béla, Tóth Géza, Dr. Tóth Péter

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. főemelet 17. Postafiók 240.



## Ünnepi Országos Elnökségi ülés

A Magyar Geofizikusok Egyesülete és a Szovjet Kultúra és Tudomány Háza  
1979. október 11-én ünnepi ülést tartott a Szovjet—Magyar Tudományos Műszaki  
Együttműködési megállapodás 30. évfordulója alkalmából

Az ülés programja:

MOLNÁR KÁROLY, a Magyar Geofizikusok Egyesülete elnöke:  
Ünnepi megnyitó

DR. TAKÁCS ERNŐ, a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem dékánja:  
Szovjet—magyar kapcsolatok a felsőoktatás területén

Dr. MÜLLER PÁL, a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet igazgatója:

A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet és a szovjet partner intézmények kapcsolatai

Dr. ÁDÁM ANTAL, a Magyar Tudományos Akadémia Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete igazgatóhelyettese:

Általános geofizikai kapcsolataink a Szovjetunióval

BIMBÓ JÓZSEF, a Mecseki Ércbányászati Vállalat szociális igazgatója:  
Szovjet—magyar együttműködés az érc kutatás területén

CZEGLÉDI ISTVÁN, az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt főosztály-vezetője:

Az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt együttműködése a szovjet geofizikai intézményekkel

*Molnár Károly: Ünnepi megnyitó*

Kedves Elvtársak, Kedves Vendégek!

A szocialista országok nemrégén ünnepelték a Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa, valamint a szovjet—magyar tudományos-műszaki együttműködésről szóló megállapodás 30. évfordulóját.

Az állami szinten történt megemlékezések és az ezzel kapcsolatos rendezvények és kiállítások ugyan kellően reprezentálták annak jelentőségét, amit a szovjet—magyar tudományos-műszaki együttműködés országunk gazdasági fejlődésében az elmúlt 30 évben jelentett, az országos szintű rendezvények azonban a szűkebb szakmai területek minden említésre érdemes fejezetére természetesen nem térhettek ki.

A földtani kutatások és ezen belül is a geofizikai kutatások már a felszabadulást követő években is szinte felbecsülhetetlen segítséget kaptak mind a szénhidrogén-, mind az érc kutatás területén a Szovjetuniótól. *Egyesületünk elnöksége*



átérezve az ezen időszak és az azóta eltelt 30 esztendő során megvalósult, a különböző együttműködési megállapodásokban rögzített, és azon kívül spontán baráti segítségként kapott támogatás jelentőségét, határozott úgy, hogy kibővített országos elnökségi ülés keretében emlékezik meg a nevezetes évfordulóról.

A megnyitót követő előadások a geofizika minden területére kiterjedően vázolják a szovjet – magyar kapcsolatok fejlődését jelenlegi állását és a jövőre vonatkozó elképzeléseket is, ezért úgy gondolom és remélem, hogy a jelenlevők is egyetértenek velem abban, hogy ha nem foglalom tömören össze a következő előadások tartalmát, hanem helyette inkább általános vonatkozásban említek meg néhány jelentős mozzanatot a szovjet – magyar tudományos-műszaki kapcsolatok történetéből.

Az együttműködés kezdetén a hangsúly a már meglevő ismeretek és eredmények cseréjére tevődött. A dokumentációcsere ugyan a későbbi években is jellemzője maradt az együttműködésnek, amelyeknek felhasználásával készült el a *Dunai Vasmű*, a *Dunai Hőerőmű*, a *Százhalombattai Finomító*, az *Almásfüzülői Timföldgyár*, a *Székesfehérvári Könnyűfémű* vagy pl. a házgyárak stb., azonban a formák egyre változtak és a módszerek is fejlődtek.

A 60-as évek elejétől az együttműködésben résztvevők már arra törekedtek, hogy a műszaki-tudományos együttműködést a közös érdekeket képviselő kutatási-tervezési munkák munkamegosztáson történő elvégzésére összpontosítsák. Ez megalapozta a szellemi erő koncentrációját és lehetővé tette, hogy az ágazati szinten összehangolt s egy-egy tervidőszakra megtervezett kutató-fejlesztő munka eredményeit a termelésben, a nemzetközi gyártásszakosításban és kooperációban közösen lehessen felhasználni. A munkamegosztáson alapuló együttműködés példájaként a mikrohullámú rádiórelé-rendszer kidolgozását, az automata lámpagyártó gépsorokat, valamint a gyenge minőségű bauxitból való timföldgyártás technológiáját lehetne mint legjellemzőbbeket kiemelni, s a sort a megnyitót követő előadások remélem még újabbakkal fogják kiegészíteni.

Nem lenne azonban teljes az ünnepi megemlékezés, ha a magyar – szovjet kapcsolatok áttekintésénél csak kooperációról, gyártásszakosításról, dokumentációcseréről beszelnénk, és nem szólnánk azokról, akik ebben tevékenyen közreműködtek, akik ezt megvalósították. Ezek sorában is talán első helyre kívánczik azon szakemberekre való visszaemlékezés, akik Magyarországon tanították 1952–1955 között a geofizikusok egy generációját a gyakorlati geofizikai tudnivalók ABC-jére, átfogó geofizikai kutatópolitikai elvek elsajátítására.

Mint hogy ebből a generációból többünknek a szakmai vezetője is szovjet szakember volt, tényleg emberközelből ismerhettük meg a fiatalokkal való törődésüket, abban a korszakban, amikor a vállalatoknál az akkori vezetés még sokszor elég bizalmatlanul viszonyult az egyetemekről kikerült szakemberekhez.

S ha azt a szaktudást, amit tőlük akkor átvettünk, a geofizika fejlődése már feledésre ítélte, nem szükségszerű, hogy az akkor modernnek számító ismereteket és főképpen a mögötte álló embert is elfeledjük.

Befejezésül engedjék meg, hogy Egyesületünk nevében őszinte tisztelettel és szeretettel köszönjem meg e ház gazdájának azt az igazán nemes gesztust, amely lehetővé tette, hogy megemlékező összejöveteleinket az alkalomhoz illő és annak jelentőségét méltóan reprezentáló helyen rendezhettük meg.



A szovjet—magyar tudományos—műszaki együttműködési megállapodás 30. évfordulóján a szovjet és magyar felsőoktatási intézmények geofizikai vonatkozású kapcsolatainak áttekintését azzal kezdem, hogy ez az évforduló nagyon közel van e kapcsolat hazai bázisai — geofizikai tanszékeink — alapításának közelgő 30 éves jubileumához. Az ELTE Geofizikai Tanszékét 1950-ben, a NME Geofizikai Tanszékét 1951-ben alapították. Létrehozásuk szorosan összefüggött országunk felszabadulás utáni talpraállásával, mert nyersanyag-szükségletünk biztosításának egyik felsőoktatási vetülete volt.

Már ez az időbeli közelség is arra utal, hogy a 30 évvel ezelőtti megállapodásnak igen nagy hatása kellett legyen geofizikai tanszékeink oktató-kutató munkájának alakulására és ezen keresztül szakterületünk fejlődésére is.

Az együttműködés formája és tartalma évtizedek során sokat változott, mert az elért eredmények, a szerzett tapasztalatok és az egyre teljesebbé váló kapcsolatok a folyamatot szinte katalizálták. Jól követhető ez a felsőoktatás területén.

Egyetemi tanulmányaimra és pályakezdő éveimre visszaemlékezve eszembe jut, hogy milyen döntő változást jelentett az ismeretszerzés lehetőségében, szemléletünk alakításában a magyarra fordított szovjet tankönyvek megjelenése. Szerencsénkre köztük volt Szorokin — Uriszov — Rjabinkin — Dolickij könyve: „A kőolajkutatás geofizikai módszerei” is, amelyet 1953-ban 600 példányban adtak ki. Lektorai geofizikai tanszékeink vezetői voltak. Az addig csak szórványosan megjelent, speciális témakörű jegyzetek után az oktatóknak, hallgatóknak először nyílt lehetősége arra, hogy magyar nyelven olvassanak átfogó geofizikai szakirodalmat. Ez a könyv segítette tananyagunk kialakítását és a NME-n több éven át — egyes fejezeteit illetően — le is fedte azt.

A szovjet szakirodalom fokozatosan felbecsülhetetlen értékű forrása lett oktató és kutatómunkánknak. Tanszéki és magánkönyvtáraink szépen gyarapodtak, teljessédték. Ehhez kedvező feltételt jelentett, hogy a szovjet könyvek, folyóiratok nálunk is megkaphatók. Bővülő kapcsolataink keretében ajándékként, cserepéldányként is szép számban érkeztek hozzánk a szűk körnek szánt kis példányszámú kiadványoktól a kézikönyvekig terjedően. Tapasztaltuk, hogy a szovjet szakirodalom akármilyen témakörben bármilyen szinten elméleti és gyakorlati vonatkozásban egyaránt kimeríthetetlen tárháza a tananyag-nak. Ennek nemcsak az az oka, hogy egyedülálló szellemi kapacitás áll mögötte, hanem az is, hogy a Szovjetunióban igen nagy a könyvek iránti igény, ami természetessé tette az ismeretátadás vállalását. A szovjet irodalomban bőséges választékát találjuk a nagyszerű tankönyveknek, amelyek a fejlődéssel lépést tartva, rövid időközökben megújulva, rendszeresen ismételt kiadásokban jelennek meg. A szovjet irodalom ismerete ezért nélkülözhetetlen részévé vált oktatómunkánknak. A szovjet—magyar tudományos—műszaki együttműködésnek ebben nagy szerepe van.

Oktatómunkánk tartalmát formálták azok a kapcsolatok is, amelyek a hazánkba érkező szakértőkkel kialakultak. A szénhidrogén- és érc kutatás területén nálunk tevékenykedő geofizikusok tanulmányutak, nyári gyakorlatok alatt, diplomaterv-konzultációk keretében készséggel vállalták oktatómunkánk segítségét, gazdagítását. Időnként az egyetemekre is ellátogattak. Ezekből a találkozásokból sokat profitáltunk, elsősorban a szeizmikus és karotázs módszerek vonatkozásában. Lassanként a szovjet műszerek is eljutottak az egye-



temekre, részben saját beszerzés, részben ipari kapcsolatok révén. Az NME-nek például kvarcgraviméter, különböző geoelektromos, karotázs, szeizmikus, légi, mágneses műszerek vannak a birtokában, s ezeknek képzsünk gyakorlati részében jó hasznát vesszük.

A szovjet – magyar tudományos-műszaki együttműködés keretében később egyre több lehetőség nyílt oktatók kölcsönös tanulmányútjára is, ami az ötvenes évek végén, a hatvanas évek elején már széleskörűvé vált. Így a helyszínen ismerkedhettünk a szovjet egyetemek életével, az oktatási módszerekkel, a tananyaggal, berendezésekkel, műszerekkel, szemléltető eszközökkel és ami efontosabb, a szovjet oktatókkal. Rengeteg információ birtokába jutottunk és tapasztalatainkat beépítettük munkánkba.

Ezen tanulmányutak során kialakult kapcsolatok teremtték meg azután azon szerződések alapját, amelyeket az *ELTE a Moszkvai Állami Egyetemmel és a Leningrádi Állami Egyetemmel, a NME pedig a Moszkvai Bányászati Egyetemmel és a Moszkvai Olaj- és Gázipari Egyetemmel* kötött a 60-as évek végén.

Ezek a szerződések rögzítik az együttműködés alapelveit az oktatás és tudományos munka területén, az oktatók cseréjének, a dokumentációk és kiadványok cseréjének módját, a konferenciákon, továbbképzésen való részvételnek, a hallgatók cseretermelési gyakorlatának és részképzésének lehetőségét. Két-három évenként kerül sor konkrét munkatervek összeállítására és az elmúlt időszak értékelésére. A szerződéses kapcsolatok keretében a tanszékek oktatói és kutatói szinte mind és többször is jártak a Szovjetunióban hosszabb-rövidebb tanulmányúton, rendezvényen. Hozzánk is rendszeresen érkeznek a szovjet vendégek. Az a gyakorlat alakult ki, hogy az ELTE-t vagy az NME-t látogatók a másik tanszékre is elmennek néhány napra. Ezek a szerződéses kapcsolatok biztosítják, hogy részleteiben is megismerjük egymás munkáját.

A hallgatók számára rendkívül kedvező, hogy nyári gyakorlatra mehetnek a Szovjetunióba. Például a Moszkvai Olaj- és Gázipari Egyetem az NME-vel minden nyáron cserél csoportokat. Lehetőség van arra is, hogy a geofizikai ágazat néhány hallgatója féléves részképzésen vegyen részt, ami látókörüket nagymértékben szélesíti és nyelvtudásukat gyarapítja.

Kialakultak azok a témakörök is, amelyekben tudományos együttműködés folyik.

Az ELTE Geofizikai Tanszéke a Moszkvai Állami Egyetemmel a gravitációs állandó, a Föld tömegének és átlagsűrűségének pontosabb meghatározása, a Hold és Föld gravitációs előterének összehasonlító elemzése, a geofizikai kutatási metodika tökéletesítése a földkéreg belső szerkezetének tanulmányozására témakörben, a Leningrádi Állami Egyetemmel pedig a geofizikai értelmezés információs-statisztikus módszerei témában dolgozik együtt.

A NME Geofizikai Tanszékének a Moszkvai Bányászati Egyetemmel van kutatási kapcsolata a széntelemek mikrotektonikájának meghatározására szolgáló módszerek kidolgozásában.

Ezekre a kutatási kapcsolatokra ma még inkább a kölcsönös tájékoztatás és eredmények átvétele jellemző. Ritka a közös publikáció. Mindenesetre kutatási kapcsolataink következő fázisában a részfeladatok célszerűbb megosztására és az eredmények szintézisére kell törekednünk.

A szovjet és magyar egyetemek szerződéses, közvetlen kapcsolatán túl az Oktatási Minisztérium tanulmányi út keretei lehetővé teszik más intézmé-



nyek meglátogatását is. Ugyanúgy nálunk is megfordulnak a Szovjetunió különböző egyetemeinek oktatói.

Az utóbbi években egyre jobban éltünk azzal a lehetőséggel is, amit a szovjet – magyar kulturális munkaterv biztosít neves szovjet szakemberek meghívására előadás tartása céljából. A meghívottak ezt mindig készséggel vállalták, és így a szovjet geofizika legújabb eredményei a legilletékesebbek közreműködésével épülhetnek be tananyagunkba. Így például az NME-n az elmúlt félévben Berdicsevszkij professzor tartott előadásokat.

Kapcsolataink hatékonysága nagymértékben függvénye az orosz nyelv megfelelő szintű ismeretének. Ennek biztosítására is több lehetőségünk van. Jobb hallgatóink intenzív nyelvtanfolyamon vehetnek részt a Szovjetunióban. Oktatóinknak is módja van nyelvtanfolyamra a Szovjetunióba utazni. Az orosz nyelv hazai oktatásának színvonalát jelentősen emelik azok a szovjet lektorok, akik idegennyelvi tanszékeinken oktató munkát vállalnak. A moszkvai bányászati egyetem vezető lektorának több hónapos miskolci tartózkodása a NME nyelvtanárai szakmai nyelvismeretének elmélyítését is segítette.

Oktatásunkra az oktatók tényleges tudományos munkája mellett visszatart az oktatók tudományos közéleti tevékenysége is. Az egyetemeken tartott, vagy a tanszékek által szervezett konferenciák, rendezvények szintén visszacsatoló szerepűek. A szovjet – magyar tudományos-műszaki együttműködés ezen a téren is sok lehetőséget nyújt.

Kiemelkedő közülük a KAPG akadémiai együttműködés keretében folyó munka.

Az ELTE oktatói a Geofizikai adatok interpretációjának matematikai módszerei és a Föld modellek felépítése, a Számítógépes analízis módszerei a geofizikában, valamint a Geotermika munkacsoportban végeznek aktív munkát és töltenek be koordinátori tiszteket.

A NME-n néhány hete tartotta ülését és szimpóziumát a Kőzetek és ásványok fizikai és szerkezeti tulajdonságai magas termodinamikai paraméterű állapotban téma munkacsoportja. A geofizikai tanszéknek a magnetotellurikus munkacsoporttal van kapcsolata.

A NME alig egy éve adott otthont „A tudomány és technika eredményei a Szovjetunió szénbányászatában” kiállításnak és konferenciának, amelynek geofizikai vonatkozásai is voltak.

A Szovjetunió felsőoktatási intézményei azonban nemcsak az eddig tárgyalt áttételes úton segítették a Magyar Népköztársaság szakemberellátását a geofizika területén. Közvetlenül is részt vállaltak a képzésben és továbbképzésben. Az 50-es évek elejétől kezdődően hazánkból mintegy 25-en szereztek geofizikai diplomát a Moszkvai Állami Egyetemen, a Moszkvai Olaj- és Gázipari Egyetemen, a Moszkvai Földtani Kutatási Egyetemen, a Leningrádi és Dnyetropetrovszki Bányászati Egyetemen. Jelenleg is 4–5 fiatal végzi geofizikai tanulmányait. Tudományos fokozatot szakterületünkről öten szereztek a Szovjetunióban.

A Szovjetunióban végzett kollégák szerepe nemcsak azért nagyon fontos a geofizikai munkák irányításában és végzésében, hogy magukkal hozták a geofizikában élenjáró Szovjetunióban felhalmozódó oktatási-kutatási tapasztalatokat, hanem azért is, mert a számunkra oly lényeges kapcsolatok ápolásában, alakításában nekik kiemelkedő részük van.

Tudásukra a hazai geofizikai képzésben is építünk. Az ELTE Geofizikai Tanszékének oktatói és kutatói közül többen a Szovjetunióban végeztek. Az



NME Geofizikai Tanszékén pedig többen meghívott előadóként, az Állami Vizsgáztató Bizottság tagjaként tevékenykednek.

Ünnepi megemlékezésemben nem törekedtem a felsőoktatásban megvalósult szovjet – magyar együttműködés aprólékos elemzésére. Az elmondottakhoz még sok részlet hozzátéhető. Úgy gondoltam, az évforduló ünnepélyes hangulatában azt kell bemutatnom, hogy – mint a magyar geofizika egészét – a felsőoktatást is áthatja és formálja a szovjet – magyar tudományos-műszaki együttműködés. Szemléltetni kívántam, hogy ez a kapcsolat sokat jelent számunkra és a szovjet félben készsége, támogató partnerre találtunk. Láttuk, együttműködési lehetőségeink milyen sokrétűek. Rajtunk múlik, hogyan élünk velük.

### **Dr. Müller Pál\*: A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kapcsolatai szovjet földtudományi intézményekkel**

A Geofizikai Intézet napjainkban sokoldalú, kiterjedt kapcsolatot folytat számos szovjet intézménnyel a nyersanyagkutatás legtöbb területén.

A háború utáni rekonstrukciós idők szovjet kapcsolatfelvétele a MASZOLAJ-hoz fűződik, amely geofizikai kutatóméréseket rendelt az Intézettől. A szovjet szakértők gyakran megfordultak az Intézetben, közös konzultációk, tapasztalatátadás céljából. Az első szovjet tanácsadó 1951-ben érkezett az Intézetbe Lev Petrov személyében. A gravitációs anomália-térképek szerkesztésének összehangolásával és minősítésével foglalkozott. Már ebben az időszakban felismerhető a szovjet – magyar geofizikai kapcsolatok jellemző sajátossága: a szovjet intézmények gazdag földtani-geofizikai „modellbankjának” és az ehhez fűződő geofizikai anomália-halmaz értelmezési tapasztalatainak az átadása a szovjet partnerek részéről. Mindez pótolhatatlan értéket jelentett és jelent ma is a magyar nyersanyagkutatásban.

Az első szovjet 24 csatornás szeizmikus berendezés 1951-ben a MASZOLAJ segítségével került az országba és kezdetben az ELGI kutatóival közösen üzemeltették (Tolmár – Sédy). A műszer gyártási dokumentációját később megvásárolta a Geofizikai Mérőműszerek Gyára, a szovjet műszer regisztrációja lett az első sorozatban gyártott magyar berendezés oszcillográfja.

Az 50-es évek közepén az egyre intenzívebbé váló magyar szénkutatás fúrólyukszelvényező szolgálatának megszervezéséhez a Szovjetunió készségesen bocsátja rendelkezésre fejlett szénkarotázásának tapasztalatait. Megvalósul az első huzamos tanulmányút (Donbass, Moszbass: Honfi – Lakatos), amit Tyerentyev szovjet szakértő készít elő. Itt láthatják először a radioaktív és a metán-karotázs alkalmazását a szénkutatásban és a hordozható félautomata karotázberendezések használatát.

1958-ban bemutatóval, előadássorozattal egybekötött magyar geofizikai műszerkiállítás nyílik meg a Szokolnyiki parkban (a brüsszeli kiállítás anyagából.) Sajnos az érdekes, hasznos kezdeményezést ekkor még nem követte rendszeres kapcsolatfelvétel és együttműködés, de néhány ELGI munkatárs ellátogat az össz-szövetségi Geofizikai Intézetbe (VNII Geofizika) és felveszik a kapcsolatot a szovjet geoelektromos szakértőkkel. A kiállításnak egy területen van sikere: a brüsszeli aranyérmes Eötvös-ingákból a Szovjetunió nagy menny-

\* Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest



nyiséget vásárol, és ezzel fokozatosan megkezdődik az oda irányuló magyar geofizikai műszerexport. Ezzel párhuzamosan egyre több szovjet műszer érkezik hazánkba, főleg CH-kutatás céljából.

1958-ban hazánkba látogat Boulanger professzor, akivel később szoros együttműködés jön létre a geodéziai-gravimetriai program keretében. A szovjet kutatókkal együttműködve bekötjük budapesti és szegedi gravitációs alappontjainkat a potsdami rendszerbe.

A KGST Földtani Állandó Bizottsága, működésének első szakaszában (1962-ig), főleg a személyi kapcsolatteremtésében segítséget nyújtani. Az újjászerveződött ÁB 1963–64-től kezdve már több lehetőséget teremt a kölcsönös utazásokhoz és a szovjet intézményekkel fokozatosan elkezdődik néhány geofizikai téma KGST kimunkálása is. Közülük említésre méltó a műszerkatalógus ill. specifikációk szabványosítása és a gravitációs-mágneses térképiadás egységesítése

1964-ben jön létre az első földkéreg-konferencia a Szovjetunióban, amellyel széles körű nemzetközi együttműködés veszi kezdetét. Különösen szoros és baráti a magyar és ukrán kutatók együttműködése (Szollogub, Subotin, Mituck, Posgay) amelynek keretében 1966–67-ben történnek az első közös kéregmérések. 1972-ben a két ország szervezésében kiadják a szocialista országok kéregmonográfiáját Magyarországon (angolul) és a Szovjetunióban (oroszul).

A szovjet – magyar geofizikai műszaki-tudományos együttműködés intenzív szakasza 1966-ban kezdődött, amikor először vetődött fel közös témák kidolgozásának lehetősége kétoldali együttműködés formájában. A Szovjetunió Geológiai Minisztériuma és a Központi Földtani Hivatal 1967. VI. 13-án aláírt megállapodása teremtette meg a kereteket és ugyanezen év októberében alá is írják az első hét téma egyeztetett munkatervét. A magyar fél részéről a munkákat szervező ELGI kezdettől fogva az egész magyar geofizika ügyének tekinti az együttműködést és az OKGT, OVIKUV, OFKfV, GM, MTA GGI és mások segítségével bonyolítja a programokat.

Érdekes felidézni ezt a „klasszikus” hét témát, a munkamegosztáson alapuló együttműködés kezdeti szakaszát. Bár a témaválasztási, szabványosítási stb. nehézségek ebben a periódusban még rányomják bélyegüket a témavitel eredményességére, a kutatók mégis úttörő munkát végeztek. Az alapelv kezdettől fogva kristálytiszt: két ország közös érdekeltségén alapuló, mindkét fél számára eredményesen felhasználható kutatási-fejlesztési eredmények szolgáltatása, többé-kevésbé azonos pénzügyi hozzájárulással. Mindezen túl ki kell emelni a témavitel szocialista jellegét, egymás kutatótevékenységének önzetlen, baráti támogatását.

Az 1. téma a spektrális karotázs hőállósági problémáival foglalkozott (ELGI–VNIJAGG). A célként kitűzött 200 °C-os hőtűrést akkor ugyan nem érték el, de egész sor említésre méltó részeredmény született. Pl. fém- és üvegware hőkompenzáló elemek – ezek tapasztalatai alapján indítják Magyarországon a fémfűző hőkéreltetőket; a program kapcsán fejlődik a GM-ben a hőálló kristálygyártás, és a nyomásálló szondamechanika konstrukciója. Először ennek a témának a keretében történik alkatrész- és műszercsere. A magyar kutatók alfa-, a szovjet kutatók gamma-referencia izotópokkal kísérletezik az automatikus hőkompenzálás rendszerét. Az utóbbi bizonyul jobbnak. Ki kell emelni a partner VNIJAGG kutatóinak színvonalas munkáját, baráti hozzájárulását a közös kutatásokhoz a kezdet óta eltelt 12 éven keresztül (Karusz, Kuznyecov, Petroszjan, Gorbacsov stb.).



A 2. téma két különböző indukciós rendszer és technológia fejlesztőmunkáit és összehasonlító analizisét tartalmazta (ELGI – VNII Geofizika). Végül a skin effektus csökkentésén alapuló alacsonyfrekvenciás magyar elképzelések nem hozták meg a várt szelvényezési információ-többletet, az alkalmazott műanyagtechnológiát pedig mindkét oldalon tovább kellett fejleszteni.

A 3. téma (OKGT – VNII Geofizika) az irányított áramterű elektromos szelvényezések két érdekes fejlesztési elképzelését vetette össze: a magyar fél a héteres sokelektródás, a szovjet fél a háromelektródás, 3-eres rendszereket fejlesztette ki sikeresen. A modellezés munkamegosztásban történik: a végtelen rétegekre a magyar, a végesre a szovjet fél szakosodott. Összeállították a teljes értelmezési nomogram készletet. A berendezéseket széles körben vették használatba mindkét országban. A téma keretében került sor 1968-ban az EL 7000 nagymélységű karotázs berendezés sikeres szovjet bemutató méréseire, amit sajnos nem követett további közös fejlesztőtevékenység, pedig erre nagy szükség lett volna a rendszer komplettírozása érdekében.

A 4. téma keretében (OKGT – ELGI – VNII Geofizika) a mélyfúrási geofizikai szelvényezési adatok digitális jelrögzítésével és számítógépi feldolgozásával foglalkoztak. A kutatások eredményeképpen megszülettek az első digitális szelvényezők és átalakítók (digitalizálók) mindkét országban. Közös állították össze a programrendszer vázát és algoritmusokat cseréltek. Megkezdődtek a MINSZK és BESM gépeken a próbafuttatások. Az első komplettebb programcsomagot a szovjet intézmény állította össze. Sok hasznos tanulsággal jártak az első gépi feldolgozási próbálkozások, amelyek a 60-as években még újdonságnak számított a karotázsban. A mélyfúrási geofizikai értelmezésben is széles körű szakmai, baráti kapcsolatok szövődtek a szovjet kutatókkal (Kamarov, Szahranov, Csukin stb.).

Az 5. téma kezdetben a legígéretesebbek közé tartozott: a terepi szeizmikus felvevőműszerek közös kidolgozását tűzte ki célul. Az eltérő fejlesztési célkitűzések és követelmények miatt az együttműködés nem realizálódott: a szovjet fél a franciákkal, az ELGI a VEB Geophysikkal hozta létre berendezését. A téma keretében magyar konvolver-elemeket és magnókat alkalmaz a szovjet partner-intézmény.

A 6. téma a nehéz szeizmogeológiai körülmények között végzett szeizmikus módszertannal foglalkozott. Az analóg korszak összehasonlítási-hatékonyági analizisét végezték el és sor került az első digitális adatfeldolgozási próbálkozásokra is. Terepen impulzus-rezgéskeltési kísérleteket végeztek.

A 7. téma keretében a magnetotellurikus módszerek és műszerek kidolgozását tervezték. A magyar fél analóg, a szovjet fél digitális berendezéseket fejlesztett ki és közös mérési programban hasonlították össze ezeket. A világ egyik első digitális MT berendezése, a CESZ javára billent a mérleg. A magyar kutatók nagyszerű szovjet tudósokat ismertek meg az együttműködés keretében (Berdicsevszkij, Alekszejev, Bezuh stb.).

Összefoglalva az első szakasz eredményeit: rendszeres kontaktus létesült a legfontosabb geofizikai kutatási területeken, a kutatók egyre jobban megismerték egymás céljait és a feltételeket, ahol a műszereknek működniük kell. Mindez elengedhetetlen volt a későbbi sikeres együttműködéshez. A témák nagy része folytatódott és ötvenként egy-egy új kutatási témával bővült is. További érdekesebb eredmények:

A szovjet széles sávú akusztikus lyukszelvényező műszert és az impulzusüzemű neutrongenerátorokat illesztik a magyar digitális regisztrálású karotázs



berendezéshez, amely a hullámképet és a lecsengési görbéket mágnesszalagra rögzíti. A világszerte újdonságnak számító rendszerrel Tatariában és Magyarországon méréseket végeznek. A szélessávú, akusztikus hullámképek analízise csővezett fúrásokban is alkalmazható, a neutron élettartam lecsengési görbék pedig kis rétegvíz-sótartalmak esetén is a CH-tárolók telítettségéről szolgáltatnak információkat.

A mélyfúrási geofizikai adatok számítógépre, ill. a fúrás mellé, vagy terepi központba kihelyezett előfeldolgozó centrumokra tervezett feldolgozási programrendszerei közös munkával algoritmus-, ill. tapasztalatcserék útján tovább épülnek. Téma indul az impulzus-vezérlésű, korszerű karotázs fotoregisztrálók fejlesztésére, összehasonlító analízisük elvégzésére.

A tengerkutatásban nagy volumenű, széles körű OMFB – GKNT ill. Intermorgeo együttműködés bontakozik ki. A szovjet fél a navigációs rendszert, a szeizmikus felvevőt, rezgéskeltőket, kábeleket, gravimétereket, magnetométereket; a magyar fél a real time geofizikai feldolgozó központot, megjeleltetőt, speciális egységeket fejleszt. Elkészül a világ egyik első, teljesen automatizált adatgyűjtő, feldolgozó fedélzeti geofizikai rendszere a Mars – 2, és számos hajót felszerelnek vele. Mindez sok szovjet kutató áldozatkész munkájának, segítségének is köszönhető. (Gorkalenko, Glumov, Szitnyikov, Matuszejev stb.).

Hasonló keretek között folyi az expedíciós expressz feldolgozó geofizikai rendszer fejlesztése az ELGI és a Nyugat-szibériai intézmények között. A rendszerek eljutnak az északi sarkkör övezetébe, ahol rendkívül zord körülmények között kell helytállniuk.

A szeizmikus kutatómódszerek fejlesztésében a különböző rezgéskeltési rendszerek összehasonlítása, tapasztalatcseréje folytatódik. Szovjet felszíni impulzusos (gázkamrás) rezgéskeltőkkel végeznek kísérleti méréseket Magyarországon. Megindulnak az összegző, adatgyűjtő rendszerek fejlesztő munkái. Elkezdődnek a térbeli szeizmika, a mélységhelyes feldolgozás kutató munkái az UKRNIGRI, a kijevei Geofizikai Kutató Intézet részvételével.

Bekapcsolódik az együttműködésbe a moszkvai Hidrogeológiai és Mérnök-geológiai Kutató Intézet (VSZEGINGEO), célul tűz ki egy komplex hidrogeológiai-geofizikai mélyfúrási vizsgálóállomás kifejlesztését.

Szélesednek az ELGI kapcsolatai a szovjet egyetemi tanszékekkel is. A (MGRT) Moszkvai Geológiai Egyetemen a kisátmérőjű indukciós szondák fejlesztésében, a Zsdanov és Lomonoszov egyetemek geofizikai és számítástechnikai intézeteivel az elektromágneses módszerek kutatásában, értelmezési eljárásaik kidolgozásában bontakozik ki együttműködés.

A szovjet és magyar intézmények kapcsolataiban előrelépést jelent az NPO Geofizika leningrádi egyesülés csatlakozása az „Intergeotekhnika” koordinációs központ munkájához. Különösen az érckutató fúrások geofizikai vizsgáló eljárásainak fejlesztése (energiaszelektív eljárások, sűrűségmeghatározás nukleáris műszerei stb.) és a digitális geoelektromos ill. gerjesztett potenciál mérőműszerek közös kimunkálása területén intenzív a munka. Külön érdeklődésre tarthat számot az első mikrogépvezérelt, digitális érckarotázs rendszer és a sekély-szeizmikus összegző berendezések fejlesztése.

Új szint jelent az ELGI szovjet geofizikai kapcsolataiban az MSZT (Szovjet Szénbányászati Minisztérium) együttműködésébe való bekapcsolódás új bányabeli, digitális szeizmikus összegző műszer kifejlesztésére.

Fokozatosan kiépülnek az ELGI kapcsolatai – az OKGT közvetítésével – az olaj- és gázipari intézményekkel és a Geofizikai Koordinációs Központtal.



Az ELGI kutatói tevékeny részt vállaltak pl. a karotázs programrendszer létrehozásában, vagy az olajipari eszközcsereben.

A KFH által koordinált szovjet-magyar geofizikai kapcsolatokat fémjelzi, hogy az ötödik ötéves terv időszakában eddig mintegy 2000 – 2000 kutatónapot töltöttek el a szakemberek az együttműködő partnereknél. Az együttműködés sok tématerületen megtermékenyítette az ELGI kutatómunkáját, a rendkívül gazdag szovjet tapasztalatok „egyenes adásban” áramolhattak kutatólaboratóriumainkba. Másrészt partnereink is sokszor aláhúzták, hogy a magyar kutatási eredmények is sok színnel, érdekes megoldással járultak hozzá a szovjet geofizikai kutatásokhoz.

A VI. ötéves terv (1981 – 85) geofizikai együttműködési programja még szebb feladatokat tartalmaz a két ország kutató-fejlesztő szakemberei számára. A tervek gondos egyeztetése már 1978-ban elkezdődött. A geofizika azon ágazatok közé került, ahol a legszorosabb, integrációs mélységű együttműködés alakult ki a legfontosabb tématerületeken. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet továbbra is törekedni fog az együttműködés elmélyítésére, továbbfejlesztésére; a szovjet és magyar geofizikusok hagyományos barátsága, eddigi eredményeink egyaránt erre köteleznek bennünket.

### *Dr. Ádám Antal: Általános geofizikai kapcsolataink a Szovjetunióval*

Az általános geofizika, amint az az ipari geofizikával foglalkozó szakemberek előtt is nyilvánvaló, a Föld belsejének és légkörének olyan sajátosságait, általános összefüggéseit kutatja, amelynek dimenziói mind horizontális, mind vertikális értelemben többnyire meghaladják egy-egy ország méreteit. Még egy regionális földtani-geofizikai jelenség is ritkán igazodik az országhatárokhoz. Ebből adódik, hogy e tudományág csak szinte kivételesen művelhető egy ország keretein belül és így a kutatás eredményessége érdekében át- meg átszövi a nemzetközi tudományszervezés. E felismerés hívta életre részben már a múlt században, de főként századunkban azokat a nemzetközi tudományos szervezeteket, amelyek nagy kutatási feladatok érdekében expedíciókat szerveztek, obszervatórium hálózat kiépítésére mozgósítottak, vagy főként az ötvenes évek vége óta egyre több, az egész Földre kiterjedő terv megvalósítását tűzték ki célul. Ennek letéteményese a geofizikában az *UGGI*, azaz a *Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió* és annak asszociációi.

A szocialista országok létrejötte után a Szovjetunió mint nagy szellemi potenciállal rendelkező ország az általános geofizika területén is segítette a kisebb országokban a nemzeti tudomány kialakulását. Mint azt a bevezetőben kihangsúlyoztuk ezt a segítséget, nevezzük együttműködési felhívásnak, a tudományág sajátos jellege különösen indokoltta tette. Az együttműködés gazdája, vagy kezdeményezője a Szovjetunió Tudományos Akadémiája olyan formát keresett, amelyben a kétoldalú kapcsolatok ápolása mellett egyszersmind a szocialista országok egymás közötti együttműködését is elmélyíthette. Az alkalmat ennek kiépítésére az 1957 – 58 évi Nemzetközi Geofizikai Év (IGY) szolgáltatta. A SZUTA célul tűzte ki, hogy a IGY munkálatait a szocialista országok területén, tehát regionálisan összefogja, összehangolja és mind szellemi, mind anyagi, főként műszertechnikai téren segíti.

Hazánk kezdettől fogva részt vett ebben a „tudományos társulásban”. A kapcsolatok a Nemzetközi Geofizikai Év folytatásaként életrehívott újabb



tervekben, tehát az 1964–65-ös Nyugodt Nap Évében (IQSY), a hatvanas évek elején indított „Felső köpeny kutatási terv”-ben (UMP) egyre jobban elmélyültek. A szovjet és magyar partnerintézmények, illetve kutatóik között mind több témában alakult ki közvetlen kétoldalú személyes kapcsolat is. Elősegítették ezeknek a kapcsolatoknak az ápolását azok a kollégáink is, akik a Szovjetunió valamelyik egyetemén, elsősorban a moszkvai Lomonoszov Egyetemen kapták földtudományi kiképzésüket.

Az együttműködés formáinak feltárásában, az eredmények értékelésében jelentős szerepet kapott a szocialista országok általános geofizikával foglalkozó geofizikusainak évenként más-más országban megrendezett konferenciája. Ezek közül az 1962-es magyarországi összejövetel különösen emlékezetes számunkra. A hazai rendezés révén partnereink behatóbban megismerkedhettek a magyar kutatások lehetőségeivel és eredményeivel. Legnagyobb ilyen rendezvény az 1964. júniusi moszkvai konferencia volt, amely ajánlásait az IGY, IQSY és az UMP emblémájával adták ki. Jellemző, hogy a konferenciára csak ajánlásokat dolgozott ki, amellyel a szocialista országokat aktivizálni akarta a fenti tervekben, de még nem adott konkrét, országokra szóló határidős munkatervet. Bár a konkrétabb együttműködés csirái már megtalálhatók az ajánlásokban is, ennek teljes kibontakoztatására 1966-ban Lipcsében került sor, ahol az európai és ázsiai régió geofizikusainak VIII. ülésszaka átalakult a KAPG bizottság alakuló ülésévé és ezzel megszületett a KAPG szervezet, a szocialista országok tudományos akadémiáinak együttműködési bizottsága a planetáris geofizika területén. A KAPG Bizottság a SZUTA elvi irányítása alatt áll, elnöke kezdettől fogva Ju. D. Boulanger professzor, a SZUTA levelező tagja.

*Az általános geofizika területén a KAPG jelenti azt a csatornát, amelyen keresztül a hazai kutatók legjobban kapcsolódhatnak a szovjet kutatóhálózat tevékenységéhez.* Természetes az, hogy a több mint 150 intézmény együttműködését koordináló szervezet munkájában meghatározó szerepe van a SZUTA intézményeinek. Ennek ellenére a KAPG vezetése gondosan ügyelt arra, hogy egy-egy tudományterületnek más szocialista országban dolgozó nevesebb szakembere is koordinációs tevékenységet fejthessen ki és ezen keresztül valamennyi szocialista ország alkotásra képes szakembereit aktivizálja.

Nem kívánunk elmélyedni a KAPG 8 albizottságból és kb. 40 munkacsoportból álló hatalmas szervezetének és ebből is adódóan sokrétű célkitűzéseinek taglalásában. Tájékoztatásul, vagy az ismeretek elmélyítése céljából csupán annyit, hogy a „planetáris” szót indokoltan iktatták a szervezet megnevezésébe. Témái között megtalálható a földkéreg- és köpenyfelépítés, a korszerű geodinamika, a szeizmológia, nap–föld-fizikai kapcsolatok, tehát a napfizika, magnetoszféra-, ionoszféra-kutatás, a meteorológia, a hidrológia, a geodézia és gravimetria, a számítógépes adatfeldolgozás és az adatbankok, adatgyűjtőközpontok rendszerének szervezése, stb. Évente 30–40 rendezvényen – munkacsoport- és albizottsági értekezleteken, szimpóziumokon, szemináriumokon nyári és téli iskolákban, expedíciókban – találkozhatnak a kutatók. A KAPG lehetőséget biztosít a szakemberecserére, működnek a közös munka alkotó műhelyei, a bázislaboratóriumok.

Hazánkban is sokrétűen kapcsolódott be a KAPG tevékenységébe, elsősorban 8 regionális koordinátorának szervező munkája révén. Így sor került közös térképek szerkesztésére és kiadására a geotermika, közös adatfeldolgozásra a recens kéregmozgások terén. Szerveztünk a pulzációk kutatása végett a kelet-



európai régióban szinkronméréseket egy jól kiépített állomáshálózatban, expedíciót a Kárpátok elektromos vezetőképesség-anomáliájának vizsgálatára, elősegítettük műszereink (variométerek) cseréjét országainkban azok egységsítése végett. Kiadtuk „Geoelectric and Geothermal Studies” címen 750 oldalas nagy monográfiánkat, amelynek nemcsak országainkban, hanem az egész világ szaktársadalmában jelentős visszhangja volt. E példamutató mű nyomában indult meg a KAPG kb. 15 éves közös kutatásának összefoglalása monográfiák, kézikönyvek sorában. Különösen eredményesek voltak a szovjet – magyar közös gravitációs árapályvizsgálatok. Folyamatban van közös nagy mérőrendszerek kidolgozása; pl. a szeizmikus előrejelzés céljából stb.

Kétszer – 1970-ben és 1978-ban – adott a soproni MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet otthont a KAPG Bizottság általános ülészakának. Az ehhez kapcsolódó tavalyi 2 napos nemzetközi konferencia a nyugati szakemberek előtt is dokumentálta a KAPG együttműködésben elért eredményeinket.

Mindez az alkotó együttműködés súlypontilag a Szovjetunió és a többi szocialista ország és így hazánk tudományos kapcsolatának elmélyítését jelenti. Ez ma már az általános geofizika sok területén egyenrangú partnerséget jelent, tehát egyformán hasznos mindegyik fél számára.

A KAPG éppen megújulását éli. Keresi az együttműködés dinamikusabb formáit. Úgy véljük, hogy ezt a komplex problémák megoldását kitűző tervekben fogja megtalálni már az 1981-ben induló tervciklusban. Ezáltal az általános geofizika terén a szovjet tudománnyal való kapcsolatunk is intenzívebbé és eredményesebbé válik.

### *Bimbó József: Szovjet – magyar együttműködés az érc kutatás területén*

Engedjék meg, hogy a szovjet – magyar tudományos együttműködésnek iparágunkat érintő néhány eredményéről szóljak. Szólni kívánok az urániparról és az ezzel kapcsolatos országos hatáskörű földtani kutatási tevékenységről mint a műszaki-tudományos együttműködés egyik sikeres területéről.

A mi iparágunkban elsősorban szovjet – magyar műszaki-tudományos együttműködésről beszélhetünk, mivel mindegyik szocialista ország uránipara szovjet tapasztalatok alapján, jórészt szovjet berendezések és technológiák alkalmazásával fejlődött ki.

A magyar uránipar természetesen nyersanyagkutatással kezdődött. A KGST Földtani Állandó Bizottsága 1963-ban alakult. Tevékenysége elsősorban a kutatási tapasztalatok összegzésében, a földtani kutatási módszerek és műszerek fejlesztésében, a hatékonyabb információcsere megvalósításában nyilvánul meg.

Az uránkutatás területén a magyar – szovjet kapcsolatok a műszaki-tudományos együttműködés keretében sokkal korábban kezdődtek. A magyar kormány meghívására 1952-ben nagy tapasztalattal rendelkező szovjet szakértő bizottság járt Magyarországon. Magyar szakemberekkel konzultálva megismerkedtek hazánk földtani felépítésével. Egyetértettek a hazai uránkutatások szükségességével és javasolták uránkutató expedíció létrehozását.

Ezt megelőzően csak egyedi kezdeményezések alapján folyt uránkutató tevékenység hazánkban, amelyet azonban nem kísért siker az egyedi jelleg,



a tapasztalatok és a megfelelő eszközök hiánya miatt. Eredménye mégis volt: felhívták a figyelmet az uránkutatási tevékenység lehetőségeire.

A kutató expedíció 1953-ban megalakult. Tagjai jórészt az uránkutatásban jártas szovjet szakemberek voltak. A kutatási feladatokat az alábbiakban határozták meg:

- Perspektivikusnak ítélt területek felett légi radiometriai mérések végzése.
- Tájékoztató jelleggel geológiai-radiometriai menetvonalak bejárása.
- Működő bányákban revíziós radiometrikus mérések végzése.
- Magyarországi paleozoos képződmények részletes vizsgálata.

A paleozoos képződmények vizsgálata hozta a legnagyobb eredményt: a mecseki lelőhely felfedezését. De a többi területeken végzett munka sem volt hiábavaló. Jelentősen hozzájárult az ország uránkutatási perspektívájának elbírálásához.

A magyar – szovjet uránkutatási együttműködés legszebb példái a magyarországi légi spektrometriai és mágneses mérések voltak. Ezen a területen szakembereinknek nem voltak tapasztalatai. Az ország perspektivikus területeinek egységes értelmezése, és prognosztikus értékelése egyaránt szükségessé tette ezeknek a méréseknek az elvégzését.

Felkérésünkre a Szovjetunió rendkívül kedvező feltételek mellett rendelkezésünkre bocsátotta a légimérésekhez szükséges berendezéseket. Vállalta a mérések végzését mindaddig, amíg a magyar szakemberek betanítása nem történt meg. A feldolgozás eredményeként 30 000 km<sup>2</sup>-ről készültek sugárzóanyag eloszlási és mágneses térképek. A kapott eredmények az uránkutatáson kívül jelentősen hozzájárultak földtani képződmények jobb megismeréséhez, a felszíni mérésekből már korábban ismert mágneses anomáliák pontosabb kijelöléséhez és néhány eddig nem ismert anomália felderítéséhez.

Jó eredményeket hozott a gamma-spektrometriai felvétel is. A fedőüledékek zavaró hatása ellenére a légi mérések több uránércesedés lehetőségére utaló jelet derítettek fel. Ezek kategorizálása és jellegük szerinti szelektálása szabta meg évekre a vállalat felszíni kutatásának irányát és sorrendiségét.

Szovjet kutatási tapasztalatok nyomán vezettük be a radiohidrogeológiai és hidrokémiai módszerek tömeges alkalmazását. Ennek lényege, hogy a természetben előforduló felszíni és mélységi vizek mintáit elemezzük hasznosítható ásványi nyersanyagok kimutatása céljából. Ez az eljárás mint nyersanyagkutatási módszer csak az utóbbi 20 évben került felhasználásra.

A kutatás irányítása szempontjából nagyon fontos, hogy ahol még nincs lelőhely, ott a rendelkezésre álló általános földtani adatokból következtessünk a terület perspektivikusságára ipari érdeklőhelyek szempontjából. Itt nem pusztán analógiai alkalmazásáról van szó, hanem a földtani környezet és a lelőhely kapcsolatának földtani törvényszerűségek alapján történő vizsgálatáról. E módszer alapjait is szovjet tapasztalatokból sajátítottuk el és alkalmazzuk hazánk területére.

A mecseki lelőhely felfedezése és feltárásának megkezdése után a Mecseki Érbányászati Vállalat már magyar földtani és bányászati szakemberekkel kezdte meg tevékenységét. E szakemberek zöme az uránbányászathoz szükséges tapasztalatokat a szovjet szakemberek mellett végzett munka során szerezte meg.



A magyar bányászat évszázados hagyományokkal rendelkezik. Az urán-bányászat azonban különleges fejtési módok alkalmazását kívánja, speciális bányabeli kutatási tevékenységet és műszerezettséget követel meg. Így ezen a területen sem nélkülözhattuk a Szovjetunió segítségét.

A lelőhely ércesedési viszonyai szükségessé teszik geofizikai módszerek alkalmazását föld alatti bányatérsegekben is, az ércetek helyének kijelölése, a mirevalóság és koncentráció meghatározása, a hatékony termelésirányítás, a pontos készletszámítás érdekében.

Az 50-es évek előtt ilyen jellegű ipari geofizikai tevékenység nem volt hazánkban. A magyar szakemberek tehát nem rendelkezhettek bányageofizikai módszertani tapasztalatokkal, bányabeli mérések végzésére alkalmas műszerparkkal.

A Szovjetunió szállította a szükséges sugárzásmérő berendezéseket, hordozható radiométereket. Rendelkezésünkre bocsátotta azokat a módszertani előírásokat, amelyek alapján a munkát megkezdhattuk.

Az évek során a szovjet tapasztalatok alapján kialakított bányageofizikai szolgálat, a vállalaton belül fejlesztett és gyártott korszerű nukleáris műszercsalád alkalmazásával olyan eredményeket ért el, hogy ennek nyomán az ércbányászat más ágazataiban és a szénbányászatban is egyre szélesebb körben alkalmaznak bányageofizikai módszereket Magyarországon a termelés, a kutatás és bányabiztonság területein.

A magyar uránipar fejlődése szempontjából nagy jelentőségű volt, a Szovjetunióval, majd később a többi KGST-ország urániparával is kialakult szoros kapcsolat. Az idevágó szakirodalom mellett rendkívül nagy segítséget jelentett és jelent ma is a rendszeres tapasztalatcsere, melynek kapcsán gyorsan értesülünk a szakterület legújabb eredményeiről, és így rövid idő alatt hasznosíthatjuk azokat munkánkban.

Szakembereink megismerhették a KGST-országok lelőhelyeinek földtani-teleptani viszonyait. A tapasztalatokat hasznosítottuk hazai viszonyok között. Kérésünkre szovjet szakemberek konzultáltak terveinkről és ha kellett, gyakorlatban is segítettek feladataink megoldásában. A legmodernebb szovjet berendezéseket, műszereket szerezhettük be.

Szovjet segítséggel két és fél évtizeddel ezelőtt új iparág született. Az elmúlt évek alatt a műszaki-tudományos együttműködés eredményeként és dolgozóink odaadó munkája nyomán értünk el sikereket, eredményeket, kutatásban, termelésben. A kezdeti időkben az együttműködés meglehetősen egyoldalú volt. A Szovjetunió rendelkezésünkre bocsátotta uránipari tapasztalatait, szállította a speciális műszereket, berendezéseket, mi pedig igyekeztünk gyorsan megtanulni az uránkutatás, uránbányászat módszereit.

Szerénytelenség nélkül elmondhatom, hogy ez a törekvésünk nem volt eredménytelen, hiszen jelenleg a szovjet–magyar műszaki-tudományos együttműködésben a magyar uránipar is egyre inkább aktívabb szerepet játszik tapasztalataival, kutatási eredményeivel.

Az elmondottak vállalatunk tevékenységének egy részterületén az uránkutatás területén megnyilvánuló műszaki-tudományos együttműködésről szölettek. A magyar–szovjet tudományos-műszaki együttműködés hatékonyságát azonban maga a vállalat, az egész vállalat léte és eredményei példázza.



**Czegledi István: Az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt együttműködése a szovjet geofizikai intézményekkel**

A mai ünnepi ülésünkön elhangzott előadások széleskörűen ismertették a szovjet – magyar geofizikai kapcsolatok kialakulását és jelenlegi helyzetét a tudomány és ipar különböző területein. Nem lenne teljes a kép, ha nem tennénk említést az alkalmazott geofizika úgymond legnagyobb „felhasználójáról” a kőolaj- és földgázbányászatról.

A felszabadulás előtti olajkutatás zömében a hazai Eötvös-ingás mérésekre támaszkodtak. (Elenyésző volt egyes tőkés cégek bér munkájában végzett szeizmikus tevékenysége.) A tőkés társaságok érdektelensége az 1945 – 48-as években mind a kutatás, mind az olajtermelés csökkenését vonta maga után, melynek az államosítások, valamint a MASZOLAJ RT, a magyar – szovjet olajkutatást és termelést végző közös vállalat létrehozása vetett véget.

Így a szovjet – magyar olajgeofizikai kapcsolatok megteremtése évének az 1949. évet tartjuk.

A MASZOLAJ megalakulását követően erőteljes fúrásos kutatást indított először a Nagyalföldön (Mezőkeresztes, Biharnagybajom stb.), majd a Dunántúlon is (Hahót, Salomvár). Az intenzív fúrásos kutatás igényelte a már meglevő Eötvös-ingás mérések mellett a további gravitációs és szeizmikus méréseket, valamint a lefúrt kutak karottázs szelvényezését is. A MASZOLAJ a felszíni geofizikai méréseket a kezdeti időszakban a MÁELGI-től rendelte meg. A hazai geofizikai szakemberhiány, a műszer és géppark elégtelensége azonban gátjává vált a kutatás növelésének, így szükségessé vált 1952-ben a MASZOLAJ Geofizikai Vállalatnak, a magyar szénhidrogénipar önálló geofizikai szervezetének megteremtése.

A hazai kis létszámú szakembergárda mellett ekkor kapcsolódtak be a magyar szénhidrogénkutatásba olyan kiváló szovjet szakemberek, mint V. I. Scsascsin, a szeizmikus kiértékelés vezetője, M. V. Gyevicev, a terepi csoportok irányítója, valamint A. Caturjan, a kiváló karottázsmérnök, a létrehozott, geofizikai vállalat igazgatója.

A munkákhoz szükséges műszereket a Szovjetunió adta. Kezdetben az SzSz – 24/48, majd az SzSz – 26/51 típusú szeizmikus, EL – 1 és AKSZ – 51 típusú karottázs berendezéseket és más műszereket, eszközöket (pl. geofonok, karottázs kábelek) használtak.

A Szovjetunió nemcsak műszereket, eszközöket és szakembereket biztosított a hazai szénhidrogénkutatás számára, de hozzáférhetővé tette – részben az 1949-ben megalakult KGST-n keresztül – azt a gazdag szénhidrogénkutatási tapasztalatot, mellyel már akkor rendelkezett.

1955-ben, a MASZOLAJ RT megszűntekor a szovjet szakértők eltávoztak, az olajkutatás teljes egészében magyar szakmai irányítás alá került. Gyümölcsöző kapcsolataink azonban ezzel nem szakadtak meg, hanem új elemekkel bővülve tovább éltek.

Első helyen kell beszélni a szovjet szakértők rövidebb-hosszabb időre történő meghívásáról, elsősorban új eljárások hazai bevezetésének elősegítésére, egyes szakmai problémák megoldására, valamint magyar szakemberek Szovjetunióban hasonló célokból tett tanulmányútjairól.

Ilyenek voltak pl. a felszíni geofizika területén:

– a refrakciós szeizmikus módszer hazai alkalmazásával összefüggő szovjet segítség,



- a Szovjetunióban kifejlesztett szabályozható irányítottágú szeizmikus mérések tanulmányozása,
- a főleg a Szovjetunióban kifejlesztésű magnetotellurikus eljárás adaptálása.

A mélyfúrás geofizika területéről, csak az utóbbiakat említve

- termelésgeofizikai eljárások bevezetése terén folytatott többszöri konzultáció,
- anomálishan magas rétegyomások előrejelzése szovjet módszerének átvétele.

A kezdeti, segítségnyújtás jellegű kapcsolatok gyorsan fejlődtek és alakultak át tényleges kétoldali tudományos-műszaki együttműködéssé.

Az olajipari geofizika mindkét ága néhány év leforgása alatt jelentős önálló eredményeket ért el, melyek lehetővé tették a hazai szénhidrogén-kutatási és feltérési feladatok megoldása mellett az együttműködés kibontakoztatását.

Ma már nemcsak a kölcsönös haszonnal járó különböző tanulmányutakról van szó, hanem egyes fejlesztési feladatok közös megoldásáról, az eredmények együttes hasznosításáról is.

E tevékenység előfutára volt az a 60-as évek elején létrejött megállapodás, melynek alapján a laterolog szondákhoz mi a végtelen vastag rétegekre végeztük el a számítást, míg a Szovjetunió elektrointegrátoron a véges rétegyvas-  
tagságot modellezte le.

Az évek folyamán egyre jelentősebbé vált a KGST-n belüli együttműködés. Az OKGT geofizikusai tevékenyen részt vettek és részt vesznek, elsősorban a KGST Kőolaj- és Gázipari Állandó Bizottság munkájában.

A KGST komplex programjának keretében 1975-ben az érdekelt államok létrehozták a geofizikai adatok feldolgozására szolgáló koordinációs központot, moszkvai székhellyel, mely az eltelt nem egészen négy év alatt komoly eredményeket ért el. Aláírtunk 10 közös műszaki-fejlesztési szerződést (ebből 7 felszíni geofizikai, 3 mélyfúrás geofizikai), melyek megvalósítása részben megtörtént, nagyobb részt folyamatban van. A KOC hivatalos adatai szerint e közös tevékenység a magyar félnek közel 2000 óra gépidő és több mint 900 szakember-hónap megtakarítást eredményez.

A főbb együttműködési témák a következők:

- nagy pontosságú statikus korrekció megoldása, az eredmények kritikai vizsgálata,
- súlyozott migrációs programcsomag elkészítése, beleértve a súlyfüggvények elemző vizsgálatát, az optimális függvények kiválasztását,
- a közvetlen olaj-gáz tárolórétegek kimutatását megalapozó amplitudó vizsgálatok végzése a szükséges amplitudó korrekciók (amplitudó divergencia, felszínközeli hatás stb.) elvégzése útján.
- az operatív karottázs interpretáció alap eljárásainak (mélységhatár egyeztetés, réteghatár kijelölés, jellemző érték meghatározás stb.) kidolgozása a KÉR rendszerhez, illetve az ASZOI – GISZ-hez,
- speciális mikroellenállás szelvényező rendszerek modellezése.

A mélyfúrás geofizika területén – a nagymélységű fúrások szelvényezése és rétegmegnyitási fejlesztési tevékenységének összehangolására – is ala-



kult egy koordinációs központ budapesti székhellyel. Ennek a KOC-nak a Szovjetunió egyelőre nem tagja, de a munka során bebizonyosodott, hogy részvétele nélkül e területen sem lehet megfelelő eredményeket elérni. Ezért a koordinátor — az OKGT — a Nehézipari Minisztériumon keresztül kétoldali együttműködésre lépett a szovjet Olajipari Minisztériumhoz tartozó geofizikai kutatóintézetekkel, illetve konstrukciós irodákkal.

A VNII Nyeftyeppromgeofizikával 1975-től kezdődően kialakított és azóta jelentősen kiszélesített együttműködés alapján a szovjet partnertől termelésgeofizikai eszközöket kaptunk, melyeket az algyői és más termelő mezők kútjai állapotának, illetve működésének ellenőrzésére alkalmazunk, mi pedig szonikus berendezést adtunk cserébe.

A továbbiakban az eszközcserén túl mindkét fél bekapcsolódott a másik fejlesztési munkáiba, mi a termelésgeofizikai műszerek mikrohibrid áramkörös hőállósításához, ők pedig akusztikus fejlesztésünk metodikai hátterének megteremtéséhez nyújtanak segítséget.

Ezen kívül a világon szinte egyedülálló lyuktelevíziós eszközeikkel végeztek nálunk Sarkadkeresztyén, Endrődön és Hajdúszoboszlón akusztikus lyuktelevíziós méréseket. Az eszközök megvétele és hazai adaptálása jelenleg célkitűzéseink között szerepel.

Az SZKTB Promgeofizikával 1976-ban léptünk kapcsolatba azzal a céllal, hogy a nagy mélységben alkalmazható, általuk kifejlesztett magas nyomás- és hőálló indukciós eszközeiket átvegyük, melynek ellentételeként MÁELGI gyártmányú karottázs regisztrálókat szállítunk.

Közös fejlesztési tervet is dolgoztunk ki, melynek alapján 3 év alatt 10–10 db 250 °C hő- és 150 MPa nyomásállóságú indukciós, illetve radioaktív mérőrendszer kivitelezésére kerülne sor.

A kapcsolatfelvétel megtörtént a krasznodári és irkutszki kutatóintézetekkel is.

A szovjet Olajipari Minisztérium a közelmúltban hivatalosan jelezte belépési szándékát az Interpromgeofizika KOC-ban, így a VI. ötéves terv időszakára a kétoldali kapcsolatok mellett a mélyfúrási geofizika területén a többoldali együttműködés erősödése várható.

A különböző szovjet intézményekkel kialakított kapcsolatok lehetőséget adtak és adnak a kereskedelmi forgalomban még nem szereplő eszközök beszerzésére, illetve előzetes tapasztalatszerzésre magyarországi földtani viszonyok között. Így került sor 1977-ben a szovjet kifejlesztésű Dinoszeiz felszíni hullámkeltők kipróbálására, a már említett lyuktelevíziós mérésekre. A moszkvai VNIIJAG-nak az alacsony frekvenciás akusztikus eszköz kifejlesztésében elért világszínvonalon levő eredményeit a MÁELGI közreműködésével igénybe tudtuk venni, több mint tíz fúrás szelvényezésére, mellyel legnagyobb problémát jelentő bonyolult felépítésű tárolóink (Sarkad, Kiha — ÉK stb.) megismeréséhez jutottunk közelebb.

Hasonló alapon, ez év őszén kerül leszállításra a VNII Geofizikában kidolgozott nagynyomású kőzetvizsgáló berendezés, melyben lehetővé válik a fúrómagok akusztikai, elektromos és egyéb paramétereinek vizsgálata max. 200 °C hőmérsékleten és 200 MPa nyomáson.

Mint a vázlatszerű felsorolásból is látható, a szovjet–magyar együttműködés komoly hasznót jelent a hazai szénhidrogénkutatásnak és a geofizika tudományának egyaránt, ezért kapcsolatainkat a VI. ötéves terv időszakában tovább kívánjuk fokozni.



Főbb célkitűzéseink:

1. Folytatni a magyar fél tevékenységét a geofizikai adatok számítógépes feldolgozására alakult KOC-ban a következő fő témakörökben:

- a nagy pontosságú sebességanalízis kiterjesztése,
- a jelalak analízisből adódó felbontás biztosítása,
- a szeizmikus csatornák csatornánkénti szonikus szelvénnnyé való transzformációja (ún. Welog-eljárás),
- teljes térbeli hullámanalízis módszereinek kidolgozása,
- az operatív karottázs interpretáció algoritmusainak befejezése, beleértve a bonyolult tárolók kvantitatív értelmezését is,
- a területi karottázs értelmezési rendszer kidolgozása.

2. Erősíteni a munkát az Interpromgeofizikai KOC-ban az alábbi témákban:

- nagy hőállóságú (230 – 260 °C-ig) hőálló indukciós, laterolog, nukleáris és szonikus műszerek létrehozására,
- 150 – 180 °C hőtűrésű komplex termelésgeofizikai berendezés (áramlásmérő, víztartalom mérő, nyomásmérő, karmantyúlokátor, sűrűségmérő) kidolgozására,
- karottázs komplex metrológiai rendszer kialakításában.

3. Elmélyíteni a kétoldalú együttműködést

- a határmenti CH-kutatásban,
- az új eljárások és eszközök kölcsönös kipróbálásában és átvételében (pl. nagyteljesítményű Dinoszeiz rezgéskeltő, nagyfrekvenciás indukciós stb.)

Az OKGT keretében dolgozó geofizikusok meggyőződése, hogy a szovjet – magyar együttműködés a jövőben is hozzájárul bonyolult szénhidrogén-földtani feladataink eredményes megoldásához, a geofizika tudományának fejlesztéséhez.



# A magnetotellurika legújabb eredményeiről\*

PROF. M. BERDICSEV SZKIJ\*\*

A dolgozat a szerzőnek a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszékén a geofizikai ágazat hallgatói részére tartott előadásait tartalmazza. Áttekinti a MT terén az utóbbi években elért jelentősebb eredményeket a Tichonov–Cagniard modell alkalmazhatósága, az adatfeldolgozás és az értelmezés területén.

Работа содержит доклад автора, сделанный для слушателей геофизического отделения на кафедре геофизики Мишкoльцкого политехнического университета тяжелой промышленности. Дает обзор наиболее значительных результатов, достигнутых в МТ, в области возможности применения модели Тихонов–Кagniард обработки и интерпретации данных.

The paper contains the material of lectures held by the author for the students of geophysics at the Geophysical Chair of the University of Heavy Industry at Miskolc. More important results obtained in the domain of magnetotellurics are reviewed, especially concerning the applicability of the Tichonov–Cagniard model, data computing and interpretation.

## I. Bevezetés

Előadássorozatom bevezetéseként bemutatom a magnetotellurikus (MT) mérések néhány eredményét, amelyet az utóbbi években a Szovjetunióban kaptunk.

A MT mélyszondázásnak fontos szerepe volt a moszkvai szineklízis kutatásában, ahol nagyon meggyőző eredményeket kaptunk. Ennek érzékeltesére szolgál az 1. táblázat, amelyben a magnetotellurikus adatokat a mélyfúrások adataival — a kristályos alaphegység mélysége — vetjük össze. Az egyezés nagyon jó.

1. táblázat

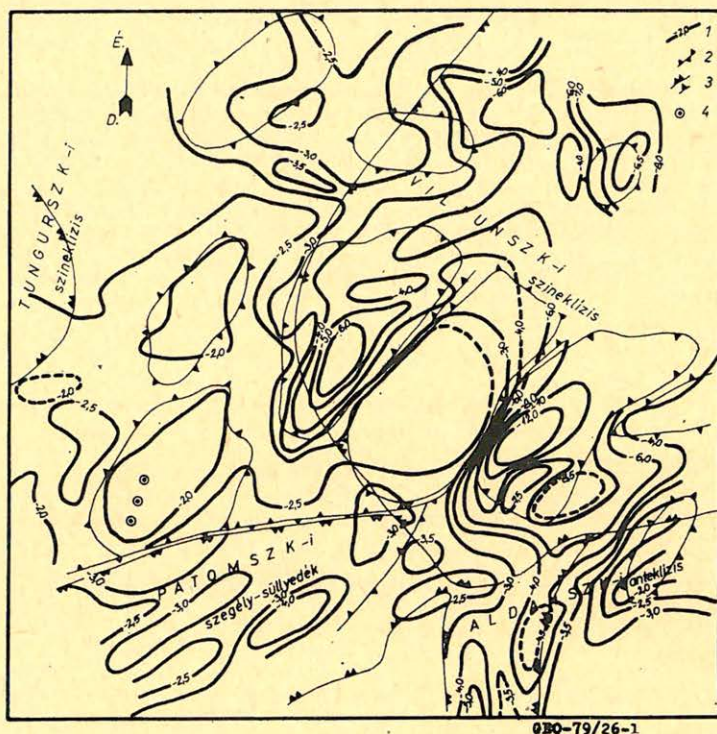
Kutatási terület és fúrás szám	Aljzatmélység (km)		Szórás (%)
	Mélyfúrás	MT	
	alapján		
Gyakonovo – 1 .....	3,13	3,15	0,5
Gyakonovo – 3 .....	3,24	3,2	1,0
Galics .....	3,8	3,4	11,0
Neja – 1 .....	3,1	3,2	3,0
Neja – 3 .....	3,0	3,15	5,0
Rozsgyesztvenno .....	2,45	2,65	8,0
Posehonje .....	2,94	2,95	0
Totyma .....	2,79	2,8	0
Leza .....	3,49	3,65	4,5
Tarnogorszkij gorodok ....	2,19	2,35	7,0
Orehovo .....	3,45	3,4	11,5

\* A tanulmány Berdicsevszkij professzornak — mint vendég előadónak — a Nehézipari Műszaki Egyetemen 1979. III. 6–12. között tartott előadásai anyagát tartalmazza.

\*\* Moszkvai Állami Egyetem



Az 1. ábrán Szibéria szívében, Jakutia DNY-i részére látható a kristályos alaphegység reliefje, amit MT szondázások útján kaptunk. A mérések felderítették a fő tektonikai elemeket. Néhány szerkezetet elsőként a MT talált meg. A kutatott terület 150 000 km<sup>2</sup>. Az eredmények megbízhatóságára utal a 2. ábra, ahol a terület északi részén áthaladó szelvényre a paleozoikum vezető üledékeinek teteje jó egyezést mutat egy szeizmikus szinttel.



1. ábra. A kristályos alaphegység reliefje DNY Jakutiában MT adatok alapján

1 – Az alaphegység mélységének izovonalai km-ben; 2 – vetőzónák; 3 – tektonikai egységek határai; 4 – az alaphegységet ért mélyfúrások mélységadataival.

Рис. 1. Рельеф кристаллического фундамента юго-западной Якутии на основании данных МТ

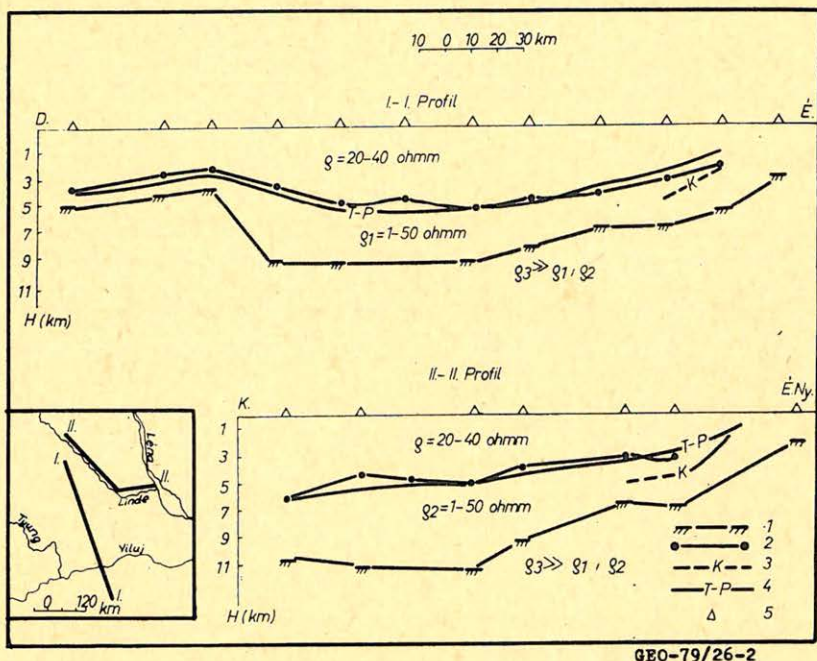
1 – Изолинии глубины кристаллического фундамента в км., 2 – зоны сбросов, 3 – Границы тектонических единиц, 4 – глубинные данные скважин, достигших кристаллического фундамента

Fig. 1. Relief of the crystalline basement in SW Yakutia based on magnetotelluric data

1 – isoline of the depth of the basement in km.; 2 – fault zones; 3 – frontiers of tectonic units; 4 – depth data of deep borings reaching the basement

A 3. ábrán Észak-Szahalinra az üledékes összetettségének térképe látható ugyancsak MT adatok alapján. Lényegében az összetett földtani felépítésű szigetnek ez az első tektonikai sémája.





2. ábra. A MT eredmények profilmenti ábrázolása az 1. ábrán bemutatott terület északi részén  
 1 – A nagy fajlagos ellenállású aljzat felszíne; 2 – a kis fajlagos ellenállású összet felszíne  
 3 – szeizmikus szint (k); 4 – szeizmikus szint (T-P); 5 – MT állomások.

Рис. 2. Представление на профиле результатов MT в северной части района, показанного на рис. 1.

1 – кровля высокоомного основания, 2 – кровля низкоомных отложений 3 – сейсмический горизонт (к), 4 – сейсмический горизонт (T-P), 5 – MT станции

Fig. 2. Representation according to profiles of the results of magnetotelluric measurements in the northern part of the area shown on Fig. 1.

1 – Upper horizon of the underlying rock with high specific resistivity, 2 – Upper horizon of the underlying rock with low specific resistivity, 3 – Seismic horizon (k), 4 – Seismic horizon (T-P), 5 – Magnetotelluric observing stations

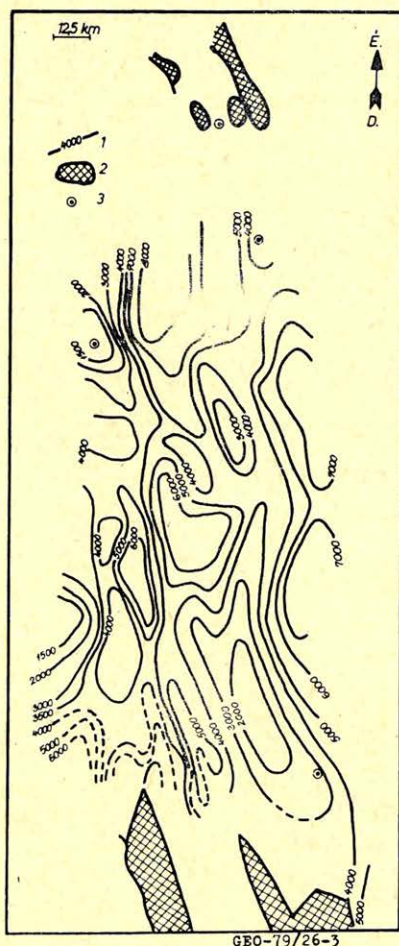
Ezek a példák eléggé meggyőzhetnek arról, hogy a Szovjetunióban a MT a szénhidrogénkutatás hathatós geofizikai eszköze lett. A MT gyors fejlődése tapasztalható azonban világszerte, így Magyarországon is.

A MT sikere alapján három tényezőnek köszönhető. Ezek a következők:

- a MT-szondázás Tyihonov-Cagniard modellje helyesnek bizonyult,
- kifejlesztették a MT variációk spektrális analízisének módszerét,
- lehetővé vált az értelmezésben a horizontális inhomogenitások hatásának figyelembevétele.

E fenti három témakörrel szól előadásaim egy-egy fejezete.





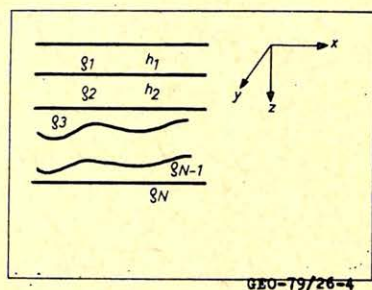
3. ábra. Az üledék vastagságának térképe Észak-Szahalinra

1 – izovonalak m-ben; 2 – kibúvások;  
3 – mélyfúrások

Рис. 3. Карта мощности осадочной толщи Северного Сахалина

1 – изолинии в м., 2 – обнажения, 3 – глубокие скважины

Fig. 3. Map of sedimental thickness for North-Sachalin  
1 – isolines in m-s, 2 – outcrops, 3 – deep borings



4. ábra. A rétegsor a Tyihonov – Cagniard modellhez

Рис. 4. Разрез пластов к модели Тихонов – Кагниард

Fig. 4. Strata-series for the Tichonov – Cagniard model

## II. A MT szondázás alap-modellje Tyihonov-Cagniard szerint

A Tyihonov-Cagniard modellt rendkívüli egyszerűsége jellemzi. Lényege a 4. ábrán látható. A földtani metszet horizontálisan homogén rétegekből és lefelé végtelen homogén aljzatból áll. Ezt a metszetet felülről – a  $z$  tengely irányába terjedő –  $E_x$ ,  $E_y$  és  $H_x$ ,  $H_y$  térerősség-komponenseket tartalmazó síkhullám éri.

Foglaljuk össze a Tyihonov-Cagniard elmélet alapvető képleteit.

Az impedanciát a

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x}$$

képlettel kapjuk. Az impedancia a rétegsor paramétereiről és a frekvenciától függ



$$Z = -\frac{i \omega \mu_0}{k_1} \operatorname{cth} \left\{ k_1 h_1 + \operatorname{arch} \frac{k_1}{k_2} \operatorname{cth} \left[ k_2 h_2 + \operatorname{arch} \frac{k_2}{k_3} \left( k_3 h_3 + \dots \operatorname{arch} \frac{k_{N-1}}{k_N} \right) \right] \right\}$$

szerint, ahol

$$k_m = \sqrt{-\frac{i \omega \mu_0}{\varrho_m}}, \quad \operatorname{Re} k_m > 0$$

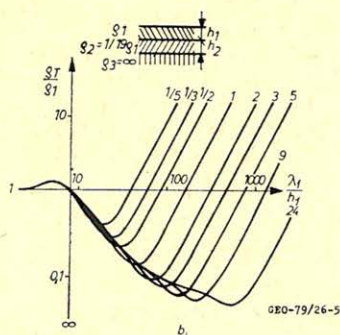
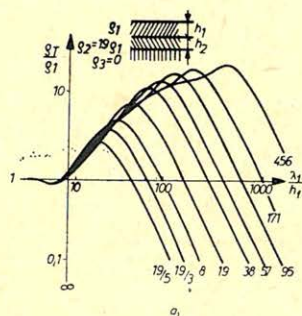
és  $\varrho_m$  és  $h_m$  az  $m$  réteg fajlagos ellenállása és vastagsága.

A  $\varrho_a$  látszólagos fajlagos ellenállást a

$$\varrho_a = \frac{|Z|^2}{\omega \mu_0}$$

képlettel számíthatjuk.

A MT szondázás célja a látszólagos fajlagos ellenállás frekvencia-függésének meghatározása. A szkin-hatás miatt a látszólagos fajlagos ellenállás frekvenciafüggése tükrözi a valódi fajlagos ellenállás mélység szerinti változását. Az 5. ábrán  $\varrho_a$  elméleti görbéi láthatók olyan három réteges metszetre,



5. ábra. MT frekvenciaszondázás elméleti görbék

Рис. 5. Теоретические кривые MT зондирования

Fig. 5. Theoretical curves for magnetotelluric frequency soundings

amikor a közbülső réteg nagyobb, vagy kisebb fajlagos ellenállású, mint az ágyazó rétegek. Az abszcisszára az első rétegre vonatkozó hullámhossznak

$$-\lambda_1 = 2\pi\sqrt{2} \sqrt{\frac{\varrho_1}{\omega \mu_0}} - \text{és az első réteg } h_1 \text{ vastagságának aránya van felhordva.}$$



A frekvencia csökkenésével balról-jobbra haladunk és egyre nagyobb mélységekre vonatkozó adatokat kapunk. Látható, hogy a látszólagos fajlagos ellenállás görbéje minőségileg tükrözi a földtani metszetet. Ezen görbék kvantitatív értékelésére különböző eljárások ismertek. Az inverz MT feladat megoldása egyértelmű.

Tyihonov és Cagniard tanulmányai az ötvenes években jelentek meg. MT szondázási modelljük a geofizikusok részére vonzó volt. Felvetődött azonban az a kérdés, hogy modelljük alkalmazható-e a Föld természetes elektromágneses terére is. A vita Wait cikkével kezdődött és lényegében máig is tart. Megállapítást nyert a Tyihonov-Cagniard modell alkalmazható olyan terekre is, amelyeknek változása horizontális irányban elegendően kicsi. Minél kisebb ugyanis a tér horizontális gradiense, a tér annál inkább homogén és annál jobban közelíti a sík-hullámot. A pulzációk és öblök terét nézve ez a kis és legjobb esetben a közepes szélességekre teljesül. Nemrégiben azonban Dimitrijev és Berdicsevszkij kimutatták, hogy a Tyihonov-Cagniard modell a terek lényegesen szélesebb módosulatára is érvényes és gyakorlatilag mindig alkalmazható.

A matematikai levezetés részleteit mellőzve csak a végeredményt tárgyalom.

Hozza létre az elektromágneses teret az ionoszféra tetszőleges eloszlású áramtere. A Földben ez a tér eleget tesz a

$$\Delta \vec{E} - k_m^2 \vec{E} = 0, \quad \Delta \vec{H} - k_m^2 \vec{H} = 0$$

Helmholtz-egyenleteknek és az  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$  folytonos átmenetét előíró határfeltételeknek. A végtelenben  $\vec{E} \rightarrow 0$  és  $\vec{H} \rightarrow 0$ . A differenciál-egyenletek elméletéből tudjuk, hogy ilyen modellre az elektromágneses tér a föld felszínén ismert horizontális mágneses komponensekből kifejezhető. A következő eredményre jutottunk

$$\begin{aligned} E_x(M_0) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int G_Z(r_{MM_0}) H_y(M) dS_M + \\ &+ \int_{-\infty}^{\infty} \int G_A Z(r_{MM_0}) \left[ \frac{\partial^2 H_x(M)}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 H_y(M)}{\partial x^2} \right] dS_M, \\ E_y(M_0) &= - \int_{-\infty}^{\infty} \int G_Z(r_{MM_0}) H_x(M) dS_M + \\ &+ \int_{-\infty}^{\infty} \int G_A Z(r_{MM_0}) \left[ \frac{\partial^2 H_x(M)}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 H_y(M)}{\partial x \partial y} \right] dS_M, \end{aligned}$$

ahol

$$G_Z(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} Z_h(v) I_0(vr) v dv$$



$$G_{\Delta Z}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} [Z_h(v) - Z_e(v)] I_0(vr) \frac{dv}{v}$$

és

$$Z_h(v) = -\frac{i\omega\mu_0}{\sqrt{v^2+k_1^2}} \operatorname{cth} \left\{ \sqrt{v^2+k_1^2} h_1 + \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{v^2+k_1^2}{v^2+k_2^2}} \operatorname{cth} [\sqrt{v^2+k_2^2} h_2 + \dots] \right\}$$

$$Z_e(v) = -\frac{i\omega\mu_0 \sqrt{v^2+k_1^2}}{k_1^2} \operatorname{cth} \left\{ \sqrt{v^2+k_1^2} h_1 + \operatorname{arcth} \frac{\varrho_2}{\varrho_1} \sqrt{\frac{v^2+k_2^2}{v^2+k_1^2}} \operatorname{cth} [\sqrt{v^2+k_2^2} h_2 + \dots] \right\}$$

$M_0$  és  $M$  felszíni pontokat jelentenek és  $I_0$  a nulladrendű Bessel-függvény. Az első integrál az ionoszféra áramainak indukciós hatását fejezi ki, míg a második integrál az ionoszféra áramainak galvanikus átvezetését a föld felé. Ez utóbbi a levegő igen nagy fajlagos ellenállása miatt elhanyagolhatóan kis értékű és így gyakorlatilag nincs hatással az elektromos térre.

A fenti összefüggésekből látható, hogy az elektromos tér horizontális komponensei integrál-differenciál transzformációi a mágneses tér horizontális komponensének. Ez a transzformáció  $G_Z$  és  $G_{\Delta Z}$  karakterisztikájú szűrőkkel végzett szűrésnek tekinthető. A  $G_Z$  szűrő a  $H_x$ ,  $H_y$  komponensre, a  $G_{\Delta Z}$  szűrő pedig horizontális deriváltjukra alkalmazandó. A szűrők csak a  $r$  sugártól függenek. Kimutatható, hogy  $r \rightarrow \infty$  esetén  $G_Z$  és  $G_{\Delta Z} \rightarrow 0$ . Így ezek a szűrők tengelyszimmetrikusak és lokálisak.

Példaképpen nézzük meg a legegyszerűbb esetet, amikor a Föld homogén. Ekkor

$$Z_h = -\frac{i\omega\mu_0}{\sqrt{v^2+k_1^2}} \quad Z_e = -\frac{i\omega\mu_0 \sqrt{v^2+k_1^2}}{k_1^2} \quad Z_h - Z_e = -\frac{v^2 \varrho_1}{\sqrt{v^2+k_1^2}}$$

és ismét

$$G_Z = -\frac{i\omega\mu_0}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{v}{\sqrt{v^2+k_1^2}} I_0(vr) dv$$

$$G_{\Delta Z} = -\frac{\varrho_1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{v}{\sqrt{v^2+k_1^2}} I_0(vr) dv$$

Tehát arra az eredményre jutottunk, hogy  $G_Z$  és  $G_{\Delta Z}$  a jól ismert Sommerfeld integrálok, tehát

$$\frac{e^{-k_1 r}}{r} = \int_0^{\infty} \frac{v}{\sqrt{v^2+k_1^2}} I_0(vr) dv$$

Így

$$G_Z = -\frac{i\omega\mu_0}{2\pi} \frac{e^{-k_1 r}}{r}, \quad G_{\Delta Z} = -\frac{\varrho_1}{2\pi} \frac{e^{-k_1 r}}{r}$$



$G_Z$  és  $G_{\Delta Z}$  kétdimenziós szűrők. Alkalmazzuk a kétdimenziós tengelyszimmetrikus szűrőt az  $F$  térerősségre. Akkor

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int G(r_{MM_0}) F(M) dS_M = \int_0^{\infty} G(r) r dr \int_0^{2\pi} F(r, \varphi) d\varphi = \int_0^{\infty} \tilde{G}(r) \tilde{F}(r) dr$$

ahol  $\tilde{F} = F$  átlaga az  $r$  sugarú körön és  $\tilde{G}$  – a szűrő hatását jellemző függvény radiális irányban. Így

$$\tilde{F} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(r, \varphi) d\varphi, \quad \tilde{G} = 2\pi r G$$

Ezeket a függvényeket a szűrő effektív karakterisztikáinak nevezzük.  $G_Z$  és  $G_{\Delta Z}$  effektív karakterisztikái

$$\tilde{G}_Z = 2\pi r G, \quad \tilde{G}_{\Delta Z} = 2\pi r G_{\Delta Z}$$

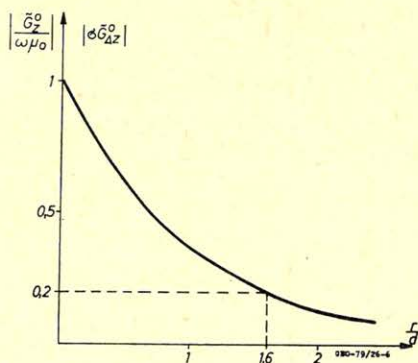
lesznek. Normálás útján a

$$\left| \frac{\tilde{G}_Z}{\omega \mu_0} \right| = \left| \frac{\tilde{G}_{\Delta Z}}{\varrho_1} \right| = |e^{-k_1 r}| = e^{-r/d}$$

összefüggésre jutunk, ahol

$$d = \sqrt{\frac{2\varrho_1}{\omega \mu_0}}$$

a tér behatolási mélysége, azaz az a távolság, amelyen a tér amplitudója  $e$ -szer kisebbé csökken. Az, hogy a szűrő mennyire helyi jellegű, a kitevő csillapodásának sebességétől függ. Minél nagyobb a frekvencia, annál gyorsabb a csökkenés és a szűrő annál inkább lokális. A 6. ábrán homogén Földre a szűrők normált karakterisztikája látható. Válasszuk meg a szűrő átvitelének területét a 0,2 szint által. Ezt a szintet  $r/d = 1,6$ -nál érjük el. Így a szűrő hatás-területe azon körön belül van, amelynek sugara megegyezik a behatolási mélységnek mintegy háromszorosával.  $E$  és  $H$  kapcsolatát tehát főként  $H$ -nak



6. ábra. A mágneses komponensből az elektromos komponens előállító szűrő karakterisztikája

Рис. 6. Характеристика фильтра электрическую компоненту из магнитной

Fig. 6. Characteristics of filter producing the electric component from the magnetic one



a  $3,2 d$  sugarú körön belüli eloszlása határozza meg. Tekintsük itt  $H$  eloszlását homogénnek. Akkor

$$E_x(M_0) \cong H_y(M_0) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G_Z(r_{MM_0}) dS_M$$

$$E_y(M_0) \cong H_x(M_0) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G_Z(r_{MM_0}) dS_M$$

Vizsgáljuk meg az  $E$  és  $H$  közötti összefüggést megadó

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G_Z(r_{MM_0}) dS_M$$

integrált. Viszont

$$G_Z(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} Z_h(\nu) I_0(\nu r) \nu d\nu,$$

ami Fourier-Bessel transzformáció. Az inverz transzformáció

$$Z_h(\nu) = 2\pi \int_0^{\infty} G_Z(r) I_0(\nu r) r dr,$$

ahonnan  $\nu = 0$  helyettesítéssel a következőt kapjuk:

$$Z_h(0) = 2\pi \int_0^{\infty} G_Z(r) \nu d\nu = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} G_Z(r) r dr d\varphi = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G_Z(r) dS.$$

Hasonlítsuk össze  $Z_h$  és  $Z$  kifejezéseit. Látható, hogy  $Z_h(0) = Z$ , ahol  $Z$  a Tyihonov–Cagniard impedancia. Amennyiben tehát  $H$  a behatolási mélység, mintegy háromszoros távolságig homogén  $E$  és  $H$  között fennáll a Tyihonov–Cagniard összefüggés. Ezt a kritériumot már évek óta alkalmazzuk a Tyihonov–Cagniard modell használhatósága feltételeként. Azonban még ezt is enyhíthetjük, bemutatva Dimitrijev és Berdicsevszkij új kritériumát.

Legyen a  $G_Z$  és  $G_{\Delta Z}$  szűrők hatásterületén belül a  $H$  mágneses tér horizontális komponense lineárisan változó, azaz

$$H_{x,y}(M) = H_{x,y}(M_0) + (x - x_0) \frac{\partial H_{x,y}(M_0)}{\partial x_0} + (y - y_0) \frac{\partial H_{x,y}(M_0)}{\partial y_0}$$

Akkor

$$E_x(M_0) \cong H_y(M_0) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G_Z(r_{MM_0}) dS_M + \frac{\partial H_y(M_0)}{\partial x_0} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - x_0) G_Z(r_{MM_0}) dS_M +$$

$$+ \frac{\partial H_y(M_0)}{\partial y_0} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (y - y_0) G_Z(r_{MM_0}) dS_M$$



Foglalkozzunk most az integrálokkal és kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x-x_0) G_Z(r_{MM_0}) dS_M &= \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} G_Z(r) r^2 \cos \varphi dr d\varphi = \\ &= \int_0^{\infty} G_Z(r) r^2 dr \int_0^{2\pi} \cos \varphi d\varphi = 0 \\ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (y-y_0) G_Z(r_{MM_0}) dS_M &= \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} G_Z(r) r^2 \sin \varphi dr d\varphi = \\ &= \int_0^{\infty} G_Z(r) r^2 dr \int_0^{2\pi} \sin \varphi d\varphi = 0 \end{aligned}$$

Tehát

$$E_x(M_0) = H_y(M_0) \int_{-\infty}^{\infty} G_Z(r_{MM_0}) dS_M = Z H_y(M_0).$$

Hasonlóképpen

$$E_y(M_0) = -H_x(M_0) \int_{-\infty}^{\infty} G_Z(r_{MM_0}) dS_M = -Z H_x(M_0).$$

Arra a meglepő eredményre jutottunk, hogy a mágneses tér tetszőleges lineáris változása mellett is érvényes a Tyihonov–Cagniard összefüggés.

Amennyiben tehát a homogén Föld felszínén a  $H_x$  és  $H_y$  komponens a behatolási mélységnek mintegy háromszoros távolságáig lineárisan változó, úgy az  $E_x/H_y$  és  $E_y/H_x$  hányados – ami a Tyihonov–Cagniard impedanciát adja – független attól, hogy mi hozza létre a teret. Nyilvánvalóan ez a megállapítás az elektromágneses terek széles módosulatára lehetővé teszi a Tyihonov–Cagniard modell alkalmazását.

Hasonló elemzést végeztünk rétegzett Földre is. Kiderült, hogy a Tyihonov–Cagniard modell csaknem mindig alkalmazható. A nyersanyagkutatásban az üledékes rétegeket 3–5 km-es vastagságig kell vizsgálnunk. Ilyenkor a Tyihonov–Cagniard modell alkalmazásához elegendő, ha 100–200 km távolságig lineáris a  $H_x$  és  $H_y$  komponensek változása. A kéreg és felső köpeny kutatásában a kutatási mélység 15–150 km. A Tyihonov–Cagniard modell erre a célra akkor alkalmazható, ha a mágneses tér horizontális komponense 50–500 km-ig lineárisan változó.

Korábban a nyersanyagkutatásban az volt a kíváncsi, hogy a MT tér legyen homogén néhány száz km-ig, ami tehát túlzott követelmény. Földünk több zónájában az MT tér nem tesz eleget a homogenitás feltételének, ami



megkérdőjelezte a Tyihonov–Cagniard modell alkalmazását. Most csupán az a követelmény, hogy a mágneses tér horizontális komponense lineáris változású legyen. A geomágnes mérések adatai szerint a mágneses tér horizontális összetevője térbeli változásai a száz km nagyságrendű távolságokon belül csaknem mindenütt lineáris függvénnyel közelíthetők. Így a Tyihonov–Cagniard elmélet alkalmazása csaknem általánosnak tekinthető. Csupán a tér néhány lokális maximumának keskeny sávjában – például a sarki fény zónájában – nem teljesül ez a feltétel. Néhány évvel ezelőtt arra a kérdésre, hogy a Tyihonov–Cagniard modell alkalmazható-e az Északi-sark közelében, azt feleltem volna, hogy nem, ma viszont igen a válaszem. Ezek szerint a külső térként sík hullámot feltételező Tyihonov–Cagniard modell alapvetőnek és univerzálisnak mondható.

### III. Az impedancia-tenzor és a MT variációk spektrál-analizise

A Tyihonov–Cagniard modell, ami a horizontálisan homogén féltér fölött érvényes a gyakorlatban olyan korrekcióra szorul, ami figyelembe veszi a laterális inhomogenitásokat is.

A Tyihonov–Cagniard modellre az alábbi egyszerű összefüggések érvényesek:

$$E_x = Z H_y, \quad E_y = -Z H_x.$$

A mátrix jelölést használva

$$[E] = Z[R][H],$$

ahol

$$[E] = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}, \quad [R] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad [H] = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix}$$

Ezekben a képletekben  $Z$  skaláris szorzó. A laterális inhomogenitásokat is figyelembe véve az impedancia már tenzor mennyiség, azaz

$$E_x = Z_{xx} H_x + Z_{xy} H_y, \quad E_y = Z_{yx} H_x + Z_{yy} H_y,$$

vagy

$$[E] = [Z][H]$$

ahol

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}.$$

Nézzük meg, igaz-e ez? Létezik-e olyan impedancia-mátrix, amelynek elemei csak a Föld belsejének vezetőképességek eloszlásától függenek? Helyes-e a tér komponensei között a lineáris algebrai összefüggés feltételezése?

A Maxwell-egyenletek lineárisak, azonban a tér komponensei között differenciális és nem algebrai összefüggést teremtenek. Az algebrai összefüggés csak akkor áll fenn, ha tér vonatkozásában bizonyos alapvető saját-ságok léteznek.



Ez a kérdés sztohasztikus értelmezéséhez vezet. Ugyanis úgy tekinthetjük, hogy a tér komponensei között a lineáris összefüggés valószínűségi jellegű és az átlagokként érvényesül. Ilyen modellben az impedancia-tenzor elemei a mágneses tér lineáris regressziójának koefficiensei az elektromos térhez viszonyítva.

A statisztikus megközelítés sohasem vezet ellentmondásra. Azonban a statisztika meglehetősen durva eszköz, mert valamilyen két mennyiség között mindig található valamilyen összefüggés, amit segítségével fel lehet tártani. Ezért nyilvánvaló, hogy ahol lehetséges, a determinisztikus, függvény-szerű kapcsolatot kell megkeresni.

A függvény-szerű kapcsolat meghatározására a megfigyelt MT teret közelítsük olyan modell-térrel, amelyben az  $\vec{E}$  vektor a  $\vec{H}$  vektornak lineáris-algebrai transzformációja. Ezzel a tulajdonsággal rendelkező tereket algebrai tereknek nevezzük. Nemrégiben Zsdanov és Berdicsevszkij kidolgozták az algebrai terek általános elméletét. Ilyen például a vertikálisan terjedő sík hullám által létrehozott tér is. Legyenek a sík hullám komponensei  $E_x^0$ ,  $E_y^0$  és  $H_x^0$ ,  $H_y^0$ . Ezt mindig két, egymástól független, lineárisan polarizált  $E_x^0$ ,  $H_y^0$  és  $E_y^0$ ,  $H_x^0$  hullámra lehet bontani. Szimbolikus jelöléssel tehát

$$\{E_x^0, E_y^0, H_x^0, H_y^0\} = \{E_x^0, H_y^0\} + \{E_y^0, H_x^0\}.$$

Az  $E_x^0$ ,  $H_y^0$  hullám az inhomogén földben már minden komponenst létrehoz és ezek arányosak a primér  $H_y^0$  térrel. Ez a jelenség a terek szuperpozíciójának elvéből következik. Így

$$\begin{aligned} E_x &= \alpha_{xy} H_y^0 & H_x &= \beta_{xy} H_y^0, \\ E_y &= \alpha_{yy} H_y^0 & H_y &= \beta_{yy} H_y^0, \end{aligned}$$

ahol az  $\alpha$  és  $\beta$  koefficiensek csak a vezetőképesség eloszlástól függnének. Hasonlóan viselkedik az  $E_y^0$ ,  $H_x^0$  tér is. Ez olyan teret kelt a Földben, hogy annak komponensei  $H_x^0$ -al arányosak, azaz

$$\begin{aligned} E_x &= \alpha_{xx} H_x^0 & H_x &= \beta_{xx} H_x^0 \\ E_y &= \alpha_{yx} H_x^0 & H_y &= \beta_{xy} H_x^0. \end{aligned}$$

Adjuk össze e két teret, akkor kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} E_x &= \alpha_{xx} H_x^0 + \alpha_{xy} H_y^0 & H_x &= \beta_{xx} H_x^0 + \beta_{xy} H_y^0 \\ E_y &= \alpha_{yx} H_x^0 + \alpha_{yy} H_y^0 & H_y &= \beta_{xy} H_x^0 + \beta_{yy} H_y^0. \end{aligned}$$

Elimináljuk  $H_x^0$ -es  $H_y^0$ -t, akkor

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xx} H_x + Z_{xy} H_y \\ E_y &= Z_{yx} H_x + Z_{yy} H_y, \end{aligned}$$

ahol

$$\begin{aligned} Z_{xx} &= \frac{\alpha_{xx} \beta_{yy} - \alpha_{xy} \beta_{yx}}{\beta_{xx} \beta_{yy} - \beta_{xy} \beta_{yx}}, & Z_{yx} &= \frac{\alpha_{yx} \beta_{yy} - \alpha_{yy} \beta_{yx}}{\beta_{xx} \beta_{yy} - \beta_{xy} \beta_{yx}} \\ Z_{xy} &= \frac{\beta_{xx} \alpha_{xy} - \beta_{xy} \alpha_{xx}}{\beta_{xx} \beta_{yy} - \beta_{xy} \beta_{yx}}, & Z_{yy} &= \frac{\beta_{xx} \alpha_{yy} - \beta_{xy} \alpha_{yx}}{\beta_{xx} \beta_{yy} - \beta_{xy} \beta_{yx}}. \end{aligned}$$



Az ilyen determinisztikus modellnél az impedancia-tenzor az egyedi tér-variációk — és nem azok átlaga — között teremt kapcsolatot. Az impedancia-tenzor elemei függetlenek a primér tér polarizációjától és a vezetőképesség eloszlását tükrözik a Földben. Ez a modell tehát lineáris függvénykapcsolatot ír le a tér komponensei között. Használatával minden variációpár alapján — amelyet kis zajszint mellett regisztráltunk — megfelelő pontossággal megkaphatók az impedanciatenzor elemei. Így az e véleménykülönbség, ami a MT tér komponensei közötti összefüggés linearitását illetően fennáll, nem csupán filozófiai kérdés. Érinti ugyanis a szükséges mérési adatok számát, a regisztrálás hosszát.

A Szovjetunió különböző területein végzett MT mérések tapasztalatai bizonyítják a determinisztikus modell fizikai realitását.

A tanulmányozandó elektromágneses jelenség tulajdonképpen három részből áll:

- lineáris rész, ami megfelel az algebrai típusú modell-térnek,
- modell-zajok, amelyek a megfigyelt tér és a modell-tér eltéréséből erednek,
- mérési zajok, amelyek ipari, elektrokémiai, mechanikai és mérés-technikai eredetűek.

A fenti megfogalmazásban a statisztikának a tér lineáris része meghatározásában van szerepe a véletlen eredetű zajok (mérési és modell-zajok) jelenléte mellett.

Nézzük ezután az impedancia-tenzor meghatározását!

A hatvanas évek elején a feldolgozás kézi úton történt és általában vizuálisan választottuk ki a kvázi-szinuszos variációkat. 4–6 komplex amplitúdó alapján írtuk föl azt az egyenletrendszert, amellyel a legkisebb négyzetek elve alapján meghatároztuk az impedancia-tenzor elemeit. A számítás pontossága meglehetősen jó volt. Ez az egyszerű eljárás azonban nem elégíthette ki a geofizikusokat, mert elegendő számú kvázi-szinuszos variáció regisztrálásához néhány napos esetleg néhány hetes mérésre volt szükség. Ma már digitális műszerekkel dolgozunk és lehetővé vált a spektrum-számítás korszerű módszereinek alkalmazása.

A spektrum-számításnak alapvetően két módszere van, a korrelációs és a szűrési eljárás.

A korrelációs eljárás elve Wienertől és Hincsinthől származik. Az MT variációk feldolgozása ennél a módszernél a következő lépésekből áll:

- a  $K_{E_x H_x}$ ,  $K_{E_x H_y}$ ,  $K_{E_y H_x}$ ,  $K_{E_y H_y}$ ,  $K_{H_x H_x}$ ,  $K_{H_x H_y}$ ,  $K_{H_y H_x}$ ,  $K_{H_y H_y}$  korrelációs függvények meghatározása, amelyek kiszámítása a

$$K_{\alpha\beta}(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} \alpha(t) \beta(t+\tau) dt$$

alakú képlet alapján történik,



– az MT variációk teljesítmény-sűrűség spektrumának meghatározása az

$$S_{\alpha\beta}(\omega) = \int_{-t_0}^{+t_0} K_{\alpha\beta}(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau$$

típusú formulával,

– az impedancia-tenzor  $[Z]$  meghatározása, amire a

$$[S_{EH}] = [Z][S_{HH}]$$

egyenletrendszer megoldása útján jutunk és ahol

$$[S_{EH}] = \begin{bmatrix} S_{E_x H_x} & S_{E_x H_y} \\ S_{E_y H_x} & S_{E_y H_y} \end{bmatrix}, \quad [S_{HH}] = \begin{bmatrix} S_{H_x H_x} & S_{H_x H_y} \\ S_{H_y H_x} & S_{H_y H_y} \end{bmatrix}.$$

A keresett impedancia

$$[Z] = [S_{EH}][S_{HH}]^{-1}$$

lesz, ahol az  $[S_{HH}]^{-1}$  mátrix  $[S_{HH}]$  inverze.

Megjegyzendő, ennek az eljárásnak az alapja a Gauss-féle legkisebb négyzetek elve. Az így kapott impedancia tehát a legkisebbé teszi az átlag-négyzetes hibát  $E$ -nek  $H$ -ból való leszámaztatásánál. Amennyire tudom, ezt az eljárást Cantwell, Bostick és Smith használták először a 60-as évek elején. Az így meghatározott impedancia azonban nagy szórást mutat. Jó eredményt csak Reddy és Rankin munkája nyomán értek el, akik a szórás csökkentésére bevezették a válogatás elvét. Jó eredményre ugyanis akkor juthatunk, ha a

$$C_x^2 = \frac{S_{H_y H_y} |S_{H_x E_x}|^2 + S_{H_x H_x} |S_{H_y E_x}|^2 - 2 \operatorname{Re}[S_{H_x H_y} S_{H_y E_x} S_{E_x H_x}]}{S_{E_x E_x} [S_{H_x H_x} S_{H_y H_y} - |S_{H_x H_y}|^2]}$$

$$C_y^2 = \frac{S_{H_y H_y} |S_{H_x E_y}|^2 + S_{H_x H_x} |S_{H_y E_y}|^2 - 2 \operatorname{Re}[S_{H_x H_y} S_{H_y E_y} S_{E_y H_x}]}{S_{E_y E_y} [S_{H_x H_x} S_{H_y H_y} - |S_{H_x H_y}|^2]}$$

koherencia függvények értéke közel van 1-hez. Amennyiben ez nem teljesül, az eredmény nem használható fel.

A másik módszer a matematikai szűrés. A MT variációk feldolgozásánál a

$$g_f(t) = g_{fr}(t) + i g_{fi}(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} W_f e^{-i\omega t} d\omega$$

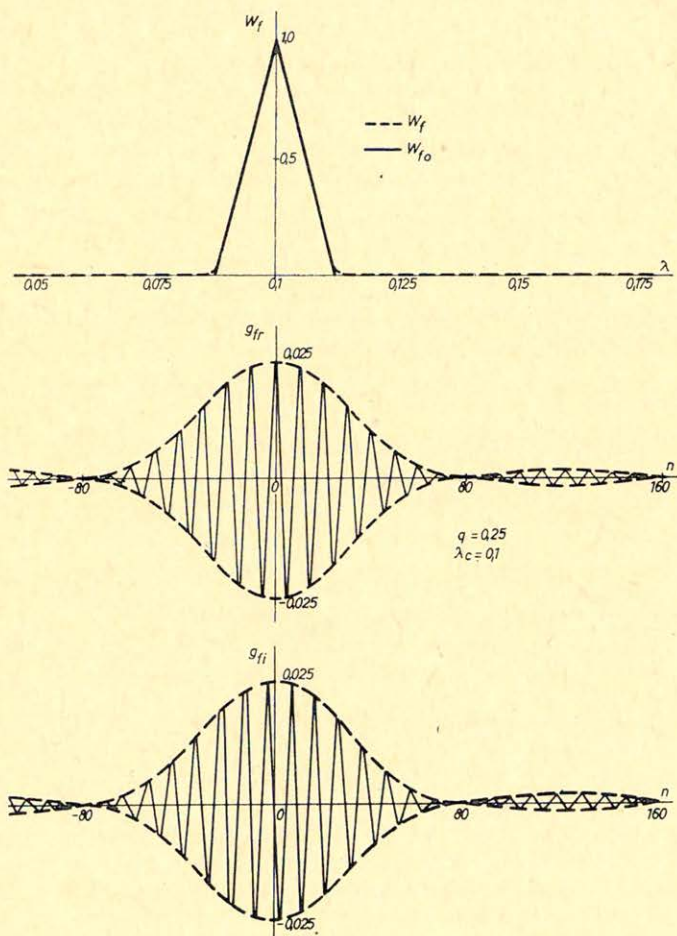
komplex átviteli karakterisztikájú, szűk sávú szűrőt használjuk, ahol  $W_f$  a szűrő frekvencia-karakterisztikája (valós függvény),  $g_{fr}$  és  $g_{fi}$  a valós és képzetes (kvadratura) átviteli karakterisztikák. A 7. ábrán egy ilyen szűrő látható. A szűrő átviteli karakterisztikája a  $t_\varphi$  időintervallumban tér el nullától. Ez a szűrő hossza. Minél hosszabb a szűrő, annál szűkebb az átvitel frekvencia-sávja. Az ábrán látható a véges hosszúságú tényleges szűrő  $W_f$  frekvenciakarakterisztikája és a végtelen hosszúságú, megvalósíthatatlan szűrő ideális  $W_{f_0}$  frekvenciakarakterisztikája.



A szűrés konvolúcióval történik, tehát

$$X_f(t) = \int_{t-t_q/2}^{t+t_q/2} x(\tau) g_f(t-\tau) d\tau$$

Így a MT variációk átalakulnak szűk frekvencia-sávú sztohasztikus jellé, amelynek középső frekvenciája megfelel a szűrő átviteli frekvenciájának, Az  $E_{xf}$ ,  $E_{yf}$ ,  $H_{xf}$ ,  $H_{yf}$  komplex amplitudók pillanatnyi értékei alapján írhatjuk fel az egyenletrendszert az impedancia-tenzor elemeinek meghatározására.



ГЭО-79/26-7

7. ábra. Frekvencia- és időtartománybeli szűrőkarakterisztikák a MT adatfeldolgozáshoz  
 Рис. 7. Частотная и переходная характеристика фильтра для обработки MT данных  
 Fig. 7. Filter-characteristics in the frequency-as well as time-domain for magnetotelluric computation



A megoldás a legkisebb négyzetek elve alapján történik. A normál-egyenletek a következő alakúak

$$[\sum E_f H_f^*] = [Z] [\sum H_f H_f^*],$$

ahol

$$\begin{aligned} [\sum E_f H_f^*] &= \begin{bmatrix} \sum E_{xf} H_{xf}^* & \sum E_{yf} H_{yf}^* \\ \sum E_{yf} H_{xf}^* & \sum E_{yf} H_{yf}^* \end{bmatrix}, \\ [\sum H_f H_f^*] &= \begin{bmatrix} \sum H_{xf} H_{xf}^* & \sum H_{xf} H_{yf}^* \\ \sum H_{yf} H_{xf}^* & \sum H_{yf} H_{yf}^* \end{bmatrix} \end{aligned}$$

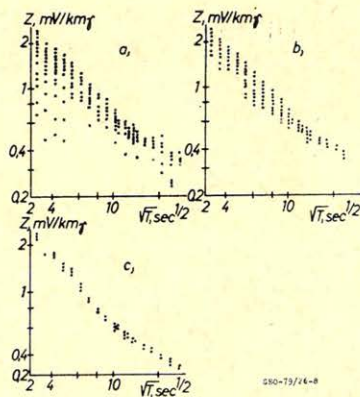
és  $H_{xf}^*$ ,  $H_{yf}^*$  komplex konjugáltja  $H_{xf}$  és  $H_{yf}$ -nek. A keresett impedancia

$$[Z] = [\sum E_f H_f^*] [\sum H_f H_f^*]^{-1}$$

lesz.

Ezt a módszert, amit Berzuk fejlesztett ki, széles körben alkalmazzák a Szovjetunióban. A program olyan blokkot is tartalmaz, ami az eredmény minőségét ellenőrzi. A kiválasztásnak három kritériumát használjuk:

- az impedancia-tenzort összevetjük az admittancia-tenzor inverzével, kis zajszintnél ezek gyakorlatilag megegyeznek,
- a számított elektromos teret összevetjük a mérttel,
- a vizsgált jelhez standard sztohasztikus jelet adunk, ami lehetővé teszi az eredmények stabilitásának megítélését.



8. ábra. Az impedancia értékek válogatása

$a$  – összes adat;  $b$  – adatok a mérési zajok eltávolítása után;  $c$  – adatok a modell zajok eltávolítása után

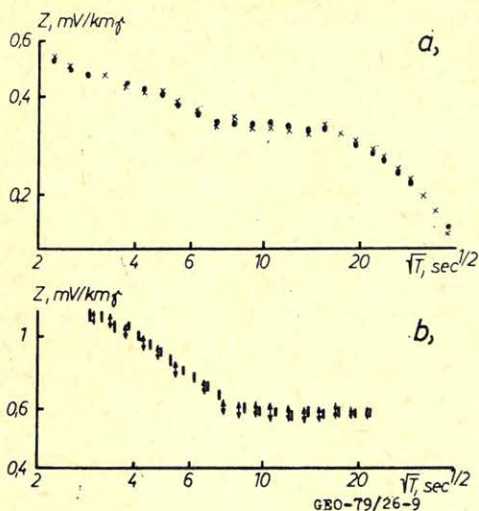
Рис. 8. Выбор величин импедансов

$a$  – все данные,  $b$  – данные после удаления помех измерения,  $в$  – данные после удаления помех модели

Fig. 8. Selection of impedance values

$a$  – all data,  $b$  – data after removing measuring noise  
 $c$  – data after removing model noise





9. ábra. A MT eredmények stabilitásának vizsgálata

a – azonos mérési ponton két műszerrel kapott adatok; b – a különböző feldolgozási eljárásokkal kapott adatok.

Рис. 9. Исследование стабильности результатов МТ

a – данные, полученные двумя приборами на одной точке измерений, б – данные, полученные разными методами обработки

Fig. 9. Stability study of magnetotelluric results

a – data obtained by two instruments on the same measuring spot, b – data obtained by different computing procedures

10. ábra. Impedancia és látszólagos fajlagos ellenállás görbék

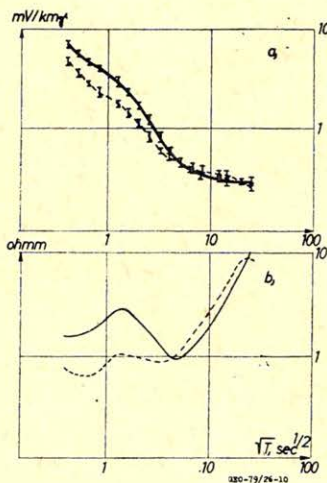
1 –  $|Z_{xy}|$ ,  $\varrho_{xy}$ ; 2 –  $|Z_{yx}|$ ,  $\varrho_{yx}$ .

Рис. 10. Кривые импеданса и кажущиеся удельного сопротивления

1 –  $|Z_{xy}|$ ,  $\varrho_{xy}$  2 –  $|Z_{yx}|$ ,  $\varrho_{yx}$

Fig. 10. Curves of impedance and apparent specific resistivity

1 –  $|Z_{xy}|$ ,  $\varrho_{xy}$ ; 2 –  $|Z_{yx}|$ ,  $\varrho_{yx}$ .



Bemutatók néhány tipikus példát. A 8. ábrán az eredmények válogatásának folyamatát látjuk. A 9. ábrán olyan eredmények szerepelnek, amelyeket ugyanazon ponton különböző műszerekkel kaptunk. Az egyezés nagyon jó.

Kedvező esetben szűréssel olyan görbék kaphatók, mint amit a 10. ábra mutat.

Vessük most össze a korrelációs módszert a matematikai szűréssel. Mindkét módszernek a legkisebb négyzetek elve az alapja. Egyenleteik lényegében megegyeznek. Az  $S_{\alpha\beta}$  teljesítmény-spektrum felírható úgy is, mint az  $\alpha$  és  $\beta^*$  komplex amplitúdók szorzatai átlagának várható értéke, azaz

$$S_{\alpha\beta} = \langle \alpha \beta^* \rangle$$



A várható érték arányos  $\Sigma\alpha\beta^*$ -val. Így a

$$[S_{EH}] = [Z][S_{HH}]$$

mátrix egyenlet helyett, amit a korrelációs módszernél használunk a

$$[\Sigma EH^*] = [Z][\Sigma HH^*]$$

egyenletre jutunk, ami viszont a szűrésnél írja le az impedanciát.

Ebből azonban valószínűleg még nem vonható le az a következtetés, hogy a két módszer gyakorlatilag azonos. Ez a kérdés további vizsgálatot igényel. A matematikai szűrésnél kvázi-szinuszos pulzációk sorozatát kapjuk. Kis zajszint mellett rövidebb pulzáció sorozat is elegendő. Így úgy tűnik, hogy a szűrést alkalmazva rövidebb felvételre van szükség, mint a korrelációs spektrumanalízisnél. Nem ismert azonban, hogy miként viselkedik a két módszer nagyobb zajszintnél.

Egyébként a zajok okozzák az egyik legnagyobb problémát a MT-ban. Az ipari eredetű zavarok évről-évre újabb területekre terjednek ki. Az ipari zajok kiküszöbölésére nemrégiben Gamble dolgozott ki egy eljárást. A közönséges korrelációs módszerek nem vezetnek eredményre, mert az egyenletekben szerepel  $S_{HxHx}$  és  $S_{HyHy}$  is. Gamble javaslata az, hogy egyidőben két ponton mérjünk (I. és II.). Ezekre a pontokra vonatkozó  $[Z^I]$  és  $[Z^{II}]$  impedanciákat a

$$[S_{E^I H^{II}}] = [Z^I][S_{H^I H^{II}}], \quad [S_{E^{II} H^I}] = [Z^{II}][S_{H^{II} H^I}]$$

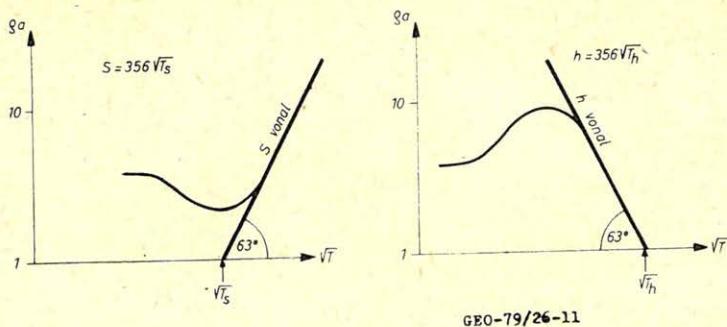
mátrix egyenletekből lehet meghatározni, és ezekben csak keresztkorreláció szerepel. I. és II. távolságának olyannak kell lennie, hogy a zajok ezekben a pontokban már korreláció nélküliek legyenek. A keresztkorreláció így azután megszabadít minket a korrelálhatatlan zajoktól. Úgy gondolom ennek a módszernek nagy jövője van.

Céлом, hogy a MT jelenlegi helyzetét mutassam be. Azonban akaratlanul is eszembe jutnak azok az idők, amikor a MT variációk spektrum-analízise teljes elkeseredést hozott. Ma már az akkori problémák zömében megoldottak, legalábbis a tört másodperctől néhány perc periódusidejű szabályos pulzációkra. Hátra van még a hosszú periódusú egyedi háborgások — például öbölháborgások — analízisének megoldása.

### III. A látszólagos fajlagos ellenállás görbék értelmezése

Miután rendelkezésre állnak az impedancia tenzorok különböző frekvenciákra a  $Z_{xy}$  és  $Z_{yx}$  elemek felhasználásával megszerkeszthetjük a  $\varrho_{xy}$  és  $\varrho_{yx}$  látszólagos fajlagos ellenállás görbéket. Feladatunk most ezek alapján a geoelektromos metszet, azaz fajlagos ellenállás-mélység összefüggés megállapítása. Az értelmezést általában azzal kezdjük, hogy eltekintünk a laterális hatásoktól és az eredményeket egy-dimenziós modellként — a fajlagos ellenállás csak a mélységgel változik — értékeljük. Ezt formális értelmezésnek nevezzük. A formális értelmezésnek több módszere ismert, amelyeket 5 csoportba foglalhatunk össze.





11. ábra. Az aszimptóták használata

Рис. 11. Использование асимптот

Fig. 11. Use of asymptotes

1. Jellemző paraméterek, mint az  $S$  átlagos horizontális vezetőképesség, a  $\rho_i$  átlagos fajlagos ellenállás, a  $h$  összegezett rétegvastagság meghatározására szélső értékű pontokat és a  $\rho_a$  görbe aszimptotikus szakaszait használjuk fel.  $S$  és  $h$  értékét például az  $S$  és  $h$  vonal és a  $\rho_a = 1$  vonal metszéspontjának abszcisszája adja. Ez látható a 11. ábrán. Megjegyzendő, hogy ezeknek a paramétereknek a meghatározása korrekt.

2. A  $\rho_a$  görbék lineáris vagy differenciális transzformációjával közelítő geoelektromos metszet szerkeszthető. A  $\rho_a$  görbe simítva ugyan, de jellemzi a kőzetek fajlagos ellenállás változását, azonban nem ad információt a mélységről. Példaképpen bemutatom, hogy juthatunk mélység skálára a Petrovskij – Niblet transzformáció útján. A látszólagos fajlagos ellenállás durva közelítéssel úgy tekinthető, mint a hullám  $d$  behatolási mélységéig az átlagos fajlagos ellenállás. Ezek szerint

$$\rho_a = \frac{1}{d} \int_0^d \rho(z) dz,$$

ahol

$$d = \sqrt{\frac{2 \rho_a}{\omega \mu_0}},$$

tehát

$$\rho_d = \frac{\partial(\rho_a d)}{\partial d}.$$

Ez az egyszerű transzformáció a  $\rho_a(\omega)$  görbét  $\rho(d)$  görbévé alakítja és így megkapjuk a közelítő geoelektromos metszetet. Ez a transzformáció azonban nem nagyon eredményes. Nyugaton igen kedvelt a Schmucker-transzformáció. A Szovjetunióban gyakran alkalmazzák a Molocsnov-transzformációt. Az ilyen értelmezés hibája jelentős lehet, viszont nagyon könnyen elvégezhető. Ezért alkalmas arra, hogy első elképzelésünket kialakítsuk a geoelektromos met-



3. Az értelmezés tradicionális módszere az elméleti görbékkel való összevetés, amelynek alapgondolata Schlumbergertől származik. Ennek gazdag múltja van a VESZ mérések értelmezésében. Az elméleti görbék használata az értelmezés első fázisában hasznos lehet a transzformációval nyert eredmények pontosításában, vagy a számítógépes értékelésnél a kezdő érték megválasztásában.

4. A direkt inverzió módszerénél analitikus úton történik a geoelektromos szelvény meghatározása. Ez nagyon csábító út, mert  $\varrho_a$  értékét valamilyen képletbe kell behelyettesíteni és a matematikai műveletek elvégzése után megkapjuk a  $\varrho(z)$  függvényt. Az irodalom több ilyen módszert tárgyal. Nagyon szellemes megoldást közöl például Weidelt. Sajnos mindegyik csupán elméleti értékű. Az inverz magnetotellurikus feladat ugyanis csak regularizációval oldható meg. A regularizációs algoritmusok használata pedig nem válik előnyükre.

5. A fokozatos közelítéssel való értelmezésnél az

$$M_\alpha(\vec{p}) = L(\vec{p}) + \alpha \Omega(\vec{p}, \vec{p}^0)$$

függvény minimalizálását kell elvégeznünk. Ez a függvény az  $L$  eltérés függvénynek és az  $\Omega$  stabilizáló függvénynek az összege. Ez utóbbi hatását  $\alpha$  koefficienssel állíthatjuk be, amelynek regularizációs paraméter a neve. Az eltérés-függvényt az értelmezendő  $\varrho_a$  görbe és a  $p_1, p_2, p_3 \dots$  paraméterű modellre (a modellt a  $\vec{p} = p_i \vec{1}_i$  vektor írja le) számított  $\varrho_a(p)$  görbe különbségéből számítjuk az

$$L(\vec{p}) = \sum_m \left[ \frac{\varrho_a(\omega_m) - \varrho_a(\omega_m, \vec{p})}{\varrho_a(\omega_m)} \right]^2$$

képlettel.

A stabilizáló függvényt a  $\vec{p}$  modellnek és a  $\vec{p}^0$  alapmodellnek – amit a területre vonatkozó minden földtani információ alapján választottunk meg – eltérése jellemzi az alábbi módon

$$\Omega(\vec{p}, \vec{p}^0) = \sum_i k_i (p_i - p_i^0)^2$$

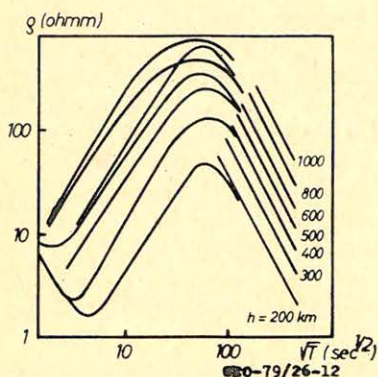
A  $k_i$  súly-koefficienssel az alapmodell egyes elemeinek megbízhatóságát fejezik ki. A minimalizálást a  $\vec{p}$  modell korrekciójával érjük el. A korrekciót a leggyorsabb lecsökkenés, vagy a Newton-módszerrel határozhatjuk meg. Ez a folyamat iterációs jellegű  $(p^{(1)} \rightarrow p^{(2)} \rightarrow p^{(3)} \rightarrow \dots p^{(N)})$ . Kezdő értéként általában az alapmodellt ( $\vec{p}^0$ ) használjuk. Az iterációt mindaddig folytatjuk, míg az  $M_\alpha$  függvény értéke eléri a mérési hiba szintjét. Az iteráció jellege attól függ, hogy milyen jól választottuk meg a kezdő értéket. Az iterációnak különböző módosulatai ismertek. Amiről szó volt, az a Glaszko-féle algoritmus, amelyet a Szovjetunióban széles körben alkalmaznak.

A fent említett műveletek elvégzése után megszerkesztett geoelektromos metszet értelmezésénél még nehéz helyzetben lehetünk. Nézzünk erre egy példát (12. ábra). A bemutatott látszólagos fajlagos ellenállás görbéket az Orosz-tábla egy kis területén kapták. A formális értelmezés szerint a mélyen levő jól vezető réteg ezen a részen a 200 km-es mélységről 1000 km-re nő,



ami fizikai és földtani szempontból is lehetetlen. Tulajdonképpen az a helyzet, hogy ezeket a görbéket a felszín-közi geoelektromos inhomogenitások torzítják.

Az ilyen torzulások jelentősek lehetnek, amire egy számított példát látunk a 13. ábrán. A görbék nagy fajlagos ellenállású sásbérc fölötti profilra vonatkoznak abban az esetben, amikor az elektromos térerősség dőlésirányú. Jelölésük  $\varrho^\perp$ . Emelkedő águk a középső rosszul vezető réteg reliefjét tükrözi simítottan, de jól visszaadva. Rosszabb a helyzet a vezető aljzat reliefjével. Felülete horizontális. A látszólagos fajlagos ellenállás görbék süllyedő ága az áram sűrűsödése miatt különböző szintre kerül. Formális értelmezésük egy mély, fiktív bemélyülést hoz ki. Ez a kép nagyon hasonló ahhoz, mint amit a 12. ábrán láttunk.



12. ábra. A felszínközeli inhomogenitások torzító hatása az Orosz tábla ÉNY-i részén.

Рис. 12. Искажающее влияние близких к поверхности неоднородностей в северо-западной части Русской платформы.

Fig. 12. Distorting effect of near surface inhomogeneities in the NW — part of the Russian platform

13. ábra.  $\varrho^\perp$  görbék sásbérc fölött

$$\frac{h_1^i}{h_1^e} = 0,1; \quad \frac{h_2^e}{h_1^e} = 20; \quad \frac{d}{h_1^e} = 4;$$

görbeparaméter  $|y|/h_1^e$ ;

$\varrho_e^i$ ;  $\varrho_e^e$  normál görbék.

Рис. 13. Кривые  $\varrho^\perp$  над горсомом

$$\frac{h_1^i}{h_1^e} = 0,1; \quad \frac{h_2^e}{h_1^e} = 20; \quad \frac{d}{h_1^e} = 4;$$

параметр кривой  $|y|/h_1^e$ ;

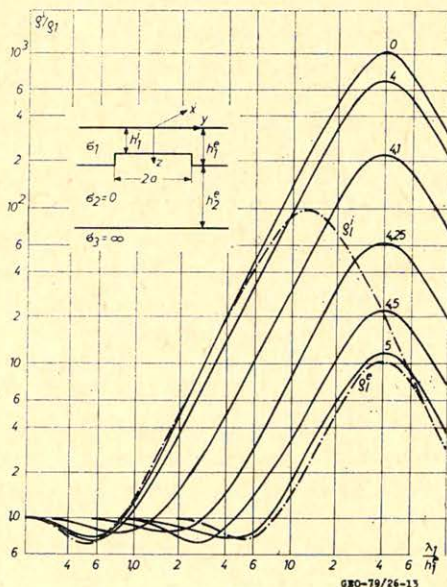
нормальные кривые  $\varrho_e^i$ ;  $\varrho_e^e$ .

Fig. 13.  $\varrho^\perp$  — curves over an uplift

$$\frac{h_1^i}{h_1^e} = 0,1; \quad \frac{h_2^e}{h_1^e} = 20; \quad \frac{d}{h_1^e} = 4$$

curve — parameter:  $|y|/h_1^e$ ;

normal curves  $\varrho_e^i$ ;  $\varrho_e^e$ ;





Váratlanul ért bennünket a szomorú hír, hogy Pista bácsi, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet nyugalmazott tudományos főmunkatársa, aki évtizedeken keresztül társunk volt a mindennapi munkában, március 4-én váratlanul elhunyt.

Halála egy küzdelmekkel teli élet végére tett pontot. Az élet nehézségeivel korán megismerkedett, mert szüleit gyerekkorában elveszítve, nem csak a tanulás lehetőségeért, de a puszta megélhetésért is komolyan meg kellett küzdenie.

1937-ben fiatal matematika-fizika szakos tanárként került a Geofizikai Intézethez és ideiglenesen rapidíjasként vett részt az Eötvös-inga-mérésekben. 1939-ben a MAORT-nál sikerült véglegesített állást kapnia, ahol elsősorban kőolajkutatótást célzó graviméteres mérésekben vett részt. Időt, fáradságot nem kímélve kereste a lehetőségeket, hogy az akkori idők távolból sem tökéletes műszereiből maximális pontosságot csikarjon ki. A MAORT megszűnése után, 1951-ben került vissza az ELGI-be, ahol kezdetben graviméteres, majd földmágneses csoportvezetőként dolgozott az ország különböző vidékein. Ebben az időben dolgozta ki a Heiland-graviméterek négyzetes korrekcióját, melynek alkalmazásával nagymértékben növelhető volt a mérések pontossága. Munkája elismeréseként a Földtani Kutatás Kiváló Dolgozója kitüntetésben részesült.

1956 – 59 között Kínában dolgozott az Eötvös-inga-mérések feldolgozásán, és a kínai szakemberek betanításán, majd az ÉK-Kínában folyó gravitációs kutatások irányítása lett feladata. Tevékenysége elismerésül a kínai kormány Barátság Emlékéremmel tüntette ki.

Visszatérve Magyarországra a földtani-geofizikai kutatás alapjait szolgáló országos földmágneses térképsorozatot szerkesztette a rá jellemző lelkiismeretességgel és pontossággal. E munkájával hosszú távra maradandó alkotást hozott létre. A légimágneses mérések megindulásakor fiatalos lendülettel sajátította el a mérések technikáját, szervezte és irányította a mérések feldolgozását.

Nyugdíjazása után sem szakadt el az Intézettől, vállalta Eötvös műszereinek összegyűjtését, gondozását és felújításuk irányítását. E munkáját nagy odaadással és szeretettel, szinte halála napjáig folytatta. Neve egybefolyt az Eötvös hagyaték ápolásának gondolatával.

Azok nemzedékéhez tartozott, akik megteremtették a magyar geofizika alapjait és munkájukkal megalapozták a jelen és a jövő nyersanyagkutatói tevékenységét. Szinte legendássá vált munkabírása és precizitása példaképül szolgálhat valamennyiünk számára.

Az általa szerkesztett földmágneses térképek és Eötvös új életre keltett műszerei mindig emlékezetünkbe fogják idézni szerény, nagytudású, lelkiismeretes és segítőkész egyéniségét.

(Szabó Z.)



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Проф. М. Вердичевский:</i> Новейшие результаты магнито-теллурических исследований	19
--	----

## CONTENTS

<i>M. Berdúshevski:</i> On recent results of magnetotellurics	19
---	----

---

## MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja a Lapkiadó Vállalat. 1073 Budapest, Lenin körút 9–11. Telefon: 429-350. Levélcím: 1906 Budapest. Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató

80.79 Állami Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Bresztovszky Péter igazgató

Terjeszti a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor

Index: 26 507
---------------



